DEMANDE DE MODIFICATION DE DÉCRET

Modification du décret 166-2022 (16 février 2022)
(DOSSIER 3211-16-011)

MINE DE FER DU LAC BLOOM

AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ D'ENTREPOSAGE DES RÉSIDUS ET STÉRILES MINIERS

Fermont, Québec, Canada

MINERAI DE FER QUÉBEC
QUEBEC IRON ORE

DATE : NOVEMBRE 2022

RÉF. WSP : 221-06731-01

MINERAI DE FER QUÉBEC

AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ D'ENTREPOSAGE DES RÉSIDUS ET STÉRILES MINIERS À LA MINE DE FER DU LAC BLOOM

MODIFICATION DU DÉCRET 166-2022 (16 FÉVRIER 2022)

MINE DE FER DU LAC BLOOM, FERMONT

CONFIDENTIEL

RÉF. WSP : 221-06731-00
DATE : 17 NOVEMBRE 2022

VERSION FINALE

WSP CANADA INC.
1890, AVENUE CHARLES-NORMAND
BAIE-COMEAU (QUÉBEC) G4Z 0A8
CANADA

T : +1-418-589-8911
F : +1-418-589-2339

WSP.COM

GESTION DE LA QUALITÉ

VERSION	DATE	DESCRIPTION
VP1	2022-10-14	Pour commentaire du client
VF1	2022-10-17	Version finale
VF2	2022-11-17	Version finale 2

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR

Luc Bouchard, biologiste, M. Sc.
Chargé de projet

RÉVISÉ PAR

Jean-François Poulin, biologiste, M. Sc.
Gestionnaire, Études d'impact Nationales

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé ce rapport uniquement pour son destinataire Minerai de fer Québec, conformément à la convention de consultant convenue entre les parties. Advenant qu'une convention de consultant n'ait pas été exécutée, les parties conviennent que les Modalités Générales à titre de consultant de WSP régiront leurs relations d'affaires, lesquelles vous ont été fournies avant la préparation de ce rapport.

Ce rapport est destiné à être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des résultats de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur le travail effectué par du personnel technique, entraîné et professionnel, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques d'ingénierie et techniques courantes et acceptées au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions exprimées dans le présent rapport sont basés sur les observations et/ou les informations à la disposition de WSP au moment de sa préparation, en appliquant des techniques d'investigation et des méthodes d'analyse d'ingénierie conformes à celles habituellement utilisées par WSP et d'autres ingénieurs/techniciens travaillant dans des conditions similaires, et assujettis aux mêmes contraintes de temps, et aux mêmes contraintes financières et physiques applicables à ce type de projet.

WSP dénie et rejette toute obligation de mise à jour du rapport si, après la date du présent rapport, les conditions semblent différer considérablement de celles présentées dans ce rapport ; cependant, WSP se réserve le droit de modifier ou de compléter ce rapport sur la base d'informations, de documents ou de preuves additionnels.

WSP ne fait aucune représentation relativement à la signification juridique de ses conclusions.

Référence à citer :

WSP. 2022. *Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers à la mine de fer du lac Bloom, modification du décret 166-2022 (16 février 2022), Mine de fer du lac Bloom, Fermont*. Rapport produit pour Minerai de fer Québec. Réf. WSP : 221-06731-00. 7 pages et annexes.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité de son destinataire. Si un tiers utilise, se fie, ou prend des décisions ou des mesures basées sur ce rapport, ledit tiers en est le seul responsable. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages que pourrait subir un tiers suivant l'utilisation de ce rapport ou quant aux dommages pouvant découler d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport.

WSP a exécuté ses services offerts au destinataire de ce rapport conformément à la convention de consultant convenue entre les parties tout en exerçant le degré de prudence, de compétence et de diligence dont font habituellement preuve les membres de la même profession dans la prestation des mêmes services ou de services comparables à l'égard de projets de nature analogue dans des circonstances similaires. Il est entendu et convenu entre WSP et le destinataire de ce rapport que WSP n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, WSP et le destinataire de ce rapport conviennent et comprennent que WSP ne fait aucune représentation ou garantie quant à la suffisance de sa portée de travail pour le but recherché par le destinataire de ce rapport.

En préparant ce rapport, WSP s'est fié de bonne foi à l'information fournie par des tiers, tel qu'indiqué dans le rapport. WSP a raisonnablement présumé que les informations fournies étaient correctes et WSP ne peut donc être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité de ces informations.

Les bornes et les repères d'arpentage utilisés dans ce rapport servent principalement à établir les différences d'élévation relative entre les emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage et ne peuvent servir à d'autres fins. Notamment, ils ne peuvent servir à des fins de nivelage, d'excavation, de construction, de planification, de développement, etc.

Ces limitations sont considérées comme faisant partie intégrante du présent rapport.

CLIENT

MINERAI DE FER QUÉBEC

Directeur corporatif Affaires gouvernementales	Michel Groleau

ÉQUIPE DE RÉALISATION

WSP CANADA INC. (WSP)

Chargé de projet	Luc Bouchard, biologiste, M. Sc.
Chargé de projet	Jean-Sébastien Berthelot, biologiste, M. Sc.
Directeur de projet	Jean-François Poulin, biologiste, M. Sc.
Cartographie	Charles Forgues, technicien en cartographie
Édition	Annie Beaudoin, adjointe administrative

TABLE DES MATIÈRES

1 MISE EN CONTEXTE 1

1.1 Objectif de la demande 1

2 DESCRIPTION DES ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES 3

2.1 Caractérisation de la silice cristalline de l'amphibolite 3

2.2 Caractérisation des matériaux composant la surface de roulement des routes de halage 3

2.3 Ajustement du modèle de dispersion atmosphérique et analyse de sensibilité 4

3 PROGRAMME DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE 5

3.1 Programme de suivi de la surface de roulement des routes de halage 5

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 7

ANNEXES

A CARACTÉRISATION DE LA SILICE CRISTALLINE DE L'AMPHIBOLITE

B CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX COMPOSANT LA SURFACE DE ROULEMENT DES ROUTES DE HALAGE

C AJUSTEMENT DU MODÈLE DE DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE ET ANALYSE DE SENSIBILITÉ

D PROGRAMME DE SUIVI DE LA SURFACE DE ROULEMENT DES ROUTES DE HALAGE

1 MISE EN CONTEXTE

1.1 OBJECTIF DE LA DEMANDE

Minerai de fer Québec (MFQ) a obtenu, le 16 février 2022, un décret gouvernemental No 166-2022 l'autorisant à augmenter la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine de fer du lac Bloom (décret). Dans le cadre de l'analyse environnementale préalable à l'émission du décret, MFQ s'est engagé à « déposer une étude complémentaire démontrant que l'hypothèse d'une teneur de 2 % en SiO_2 dans les stériles d'amphibolite retenue dans la modélisation était réaliste ». L'objectif de cette étude est de démontrer la validité de l'hypothèse concernant la teneur en silice cristalline des surfaces de roulement des routes de halages retenue dans de la modélisation atmosphérique et de s'assurer que les résultats du modèle sont conservateurs. Les détails concernant cet engagement se retrouvent dans le rapport d'analyse environnementale.

> *À ce sujet, le MELCC a demandé à l'initiateur de déposer une étude complémentaire démontrant que l'hypothèse d'une teneur de 2 % en SiO_2 dans les stériles d'amphibolite est réaliste et n'entraîne pas une sous-estimation importante des concentrations attendues de SiO_2 dans l'air ambiant aux récepteurs sensibles. L'initiateur n'a pas été en mesure de déposer cette étude au cours de l'analyse environnementale du projet, mais s'est engagé à le faire au printemps 2022. Cette étude prévoit la quantification de la teneur en SiO_2 d'une centaine d'échantillons provenant de carottes prélevées dans les deux fosses de la mine entre 1998 et 2020. Ces échantillons ont été récoltés à l'automne 2021 dans le contexte d'un plan d'échantillonnage pour la caractérisation géochimique des stériles miniers. Des échantillons d'amphibolite dispersés sur l'ensemble de la superficie des fosses de la mine ont été prélevés afin de déterminer la variabilité géochimique et spatiale de cette lithologie. Les analyses de diffraction par rayon X (DRX) seront réalisées par un laboratoire agréé par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Ces analyses permettront de quantifier la teneur en SiO_2 des stériles d'amphibolite ainsi que la teneur pour les différentes formes de silice (ex. cristobalite, tridymite).*

Cette étude fut bonifiée par l'ajout d'un programme visant à caractériser la teneur en silice cristalline des particules fines composant les matériaux de la surface de roulement des routes de halage au site. La méthode utilisée est similaire à celle employée sur le site de la mine de Canadian Malartic à Malartic en 2016; celle-ci a également été exigée par votre ministère dans le cadre de l'évaluation du projet minier Matawinie à Saint-Michel-des-Saints. L'objectif de ce programme est de caractériser directement la teneur en silice cristalline des particules fines pouvant être mises en suspension par le passage des camions sur les routes de halages et de s'assurer que la teneur en silice cristalline dans les matériaux composant la surface de roulement est réaliste eu égard aux concentrations attendues de SiO_2 dans l'air ambiant aux récepteurs sensibles. Il est incontestable que la teneur en silice cristalline mesurée dans les particules fines constitue un intrant du modèle de dispersion atmosphérique beaucoup plus juste et réaliste que celle mesurée dans les matériaux grossiers composant la fondation de la route.

Dans le contexte où les études complémentaires d'analyse des teneurs en silice cristalline pour caractériser les matériaux composant la surface de roulement des routes de halage présentent des résultats différents des hypothèses retenues dans la modélisation de l'étude d'impact, une analyse de sensibilité du modèle de dispersion atmosphérique a été complétée. Celle-ci considère quatre scénarios intégrant les résultats des caractérisations complétées, et inclut une mise à jour de certaines autres hypothèses afin que la modélisation s'harmonise avec les plus récentes pratiques de l'industrie.

En fonction de ces résultats, un programme de suivi des particules fines composant les matériaux de la surface de roulement des routes de halage a été élaboré : il est calqué sur celui précédemment utilisé pour valider les hypothèses du modèle. Ce suivi annuel est basé sur l'analyse de la teneur en silice dans les particules fines composant les matériaux de la surface de roulement des routes de halage sur le site minier. Ce suivi permettra de

tenir un registre des matériaux utilisés pour la construction et l'entretien des routes de halage afin de rencontrer l'objectif visé par la condition 4 du décret.

> *Minerai de fer Québec Inc. doit tenir un registre des matériaux utilisés pour la construction et l'entretien de la couche de roulement des routes de halage comprenant la date et la zone dans laquelle ils ont été utilisés. Le registre doit démontrer que Minerai de fer Québec Inc. a utilisé seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2 % par des résultats d'analyses. Ce registre doit être mis à la disposition du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques sur demande et dans le délai qu'il indique.*
>
> *Il doit également déposer auprès du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques un rapport démontrant qu'il a utilisé seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2 % pour la construction de la couche de roulement des routes de halage, au plus tard trois mois après la fin de la construction. Des rapports présentant cette information pour les matériaux utilisés pour l'entretien des routes doivent par la suite être transmis par Minerai de fer Québec Inc. au ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques tous les cinq ans.*

Considérant que les nouvelles informations démontrent une différence significative des teneurs en silice cristalline dans les matériaux composant les couches de roulement comparativement aux particules fines potentiellement mises en suspension par les opérations, MFQ demande à votre ministère d'utiliser le pouvoir qui lui a été délégué par le gouvernement afin de clarifier l'engagement d'utiliser seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2 % pour la construction et l'entretien de la couche de roulement des routes de halage afin de l'appliquer aux particules fines la composant.

MFQ propose que le texte de la condition 4 du décret demeure inchangé à l'exception de l'ajout d'une définition prévoyant qu'on entend par « les matériaux utilisés pour la construction et l'entretien de la couche de roulement des routes de halage » les particules fines composant ces matériaux. Vous constaterez lors de l'analyse des études complémentaires fournies que la bonification demandée n'est pas de nature à modifier le projet. Dans ce contexte, votre ministère peut procéder à une modification du décret tel que le prévoit l'article 31.7 de la Loi sur la qualité de l'environnement et la condition 9 du décret.

2 DESCRIPTION DES ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES

Dans le cadre du décret émis le 16 février 2022, le modèle de dispersion atmosphérique utilisait une hypothèse de 2 % en teneur de silice cristalline pour les particules fines mises en suspension par le roulement des camions de halage sur les surfaces de roulement. Cette hypothèse considérait que la teneur des matériaux composant la fondation de la route et les particules fines était la même, soit 2 %. L'étude complémentaire réalisée pour répondre à l'engagement pris par MFQ a révélé une différence significative entre la teneur en silice cristalline de l'amphibolite étant à 5% et celle des particules fines composant la couche de roulement qui est plus autour de 0,45 %. Cette information supplémentaire découlant des études complémentaires démontre que les impacts appréhendés dans le décret du 16 février étaient conservateurs.

2.1 CARACTÉRISATION DE LA SILICE CRISTALLINE DE L'AMPHIBOLITE

Pour répondre à son engagement à déposer une étude complémentaire démontrant que l'hypothèse d'une teneur de 2 % en SiO_2 cristalline dans les stériles d'amphibolite retenue dans la modélisation était réaliste, MFQ a mandaté WSP Golder afin de procéder à l'étude minéralogique des stériles afin d'évaluer leur teneur en silice cristalline (annexe A).

Les résultats de cette étude fournissent un portrait global de la teneur en silice cristalline (quartz alpha, cristobalite, et tridymite) des stériles miniers d'amphibolite à extraire jusqu'en 2040 de la mine du lac Bloom. Les teneurs en silice cristalline des 107 échantillons d'amphibolite analysés suivent une distribution lognormale, avec une teneur moyenne de 5,1 % massique.

2.2 CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX COMPOSANT LA SURFACE DE ROULEMENT DES ROUTES DE HALAGE

Afin de répondre à son engagement à déposer une étude complémentaire démontrant que l'hypothèse d'une teneur de 2 % en SiO_2 dans les stériles d'amphibolite retenue dans la modélisation était réaliste, MFQ a mandaté WSP Golder pour procéder à la caractérisation de la teneur en silice cristalline dans les matériaux composant la surface de roulement des routes de halage au site de la mine de fer du lac Bloom (annexe B). Puisque la silice cristalline est un matériau de grande dureté et peu friable (index d'abrasion faible), il était attendu que la teneur en silice cristalline soit plus faible dans les particules de faibles tailles de la surface de roulement des routes, générées par un mécanisme d'abrasion lors du passage des camions, que directement dans les matériaux utilisés pour la construction de celle-ci. L'utilisation des teneurs in situ en silice cristalline serait par conséquent inappropriée pour évaluer les émissions de silice cristalline dans les PM4 et un indicateur inadéquat afin de répondre à l'objectif visé par la condition 4 du décret.

Dans ce contexte, WSP Golder a procédé à l'échantillonnage et à l'analyse de la teneur en silice cristalline dans les matières granulaires présentes sur la surface des routes de halage sur le site de la mine de fer du lac Bloom. La présente note détaille ainsi la méthodologie employée et les résultats de l'échantillonnage initial réalisé au mois d'août 2022. La méthode utilisée est similaire à celle employée sur le site de la mine de Canadian Malartic à Malartic en 2016 (WSP, 2016), et celle-ci a également été exigée par le MELCC dans le cadre de l'évaluation du projet de minier Matawinie à Saint-Michel-des-Saints (MELCC, 2020).

Les résultats de cette étude indiquent que la teneur moyenne en silice cristalline des particules fines composant les matériaux de la surface de roulement des routes de halage au site MFQ dans les PM 4 est de 0,45 %. Ces résultats montrent que la teneur en silice cristalline dans les PM4 présentes sur la surface de roulement des routes de halage sur le site de la mine de fer du lac Bloom est en deçà de 2 %, tel qu'exigé à la condition 4 du décret, et ce, pour l'ensemble des routes échantillonnées.

L'analyse confirme que l'utilisation des teneurs in situ (dans la roche totale) en silice cristalline est inappropriée pour évaluer les émissions de silice cristalline dans les PM4, dues au routage, et représente un indicateur inadéquat afin de répondre à l'objectif de la condition 4. Il est donc proposé que la vérification de la condition 4 soit effectuée à l'aide d'une analyse de la surface de roulement des routes.

2.3 AJUSTEMENT DU MODÈLE DE DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE ET ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Dans le contexte où des études complémentaires d'analyse des teneurs en silice cristalline effectuées sur les matériaux disponibles pour la construction et l'entretien des routes présentent des teneurs en silice cristalline différentes des hypothèses considérées dans la modélisation, et que certaines exigences et recommandations de modélisation de la part du MELCCFP ont évolué depuis le dépôt de la modélisation influençant ainsi certains paramètres de modélisation, MFQ a mandaté WSP Golder afin de produire une analyse de la sensibilité de ces nouveaux paramètres et nouvelles études sur les résultats de la plus récente modélisation de la dispersion atmosphérique [La modélisation 2020] de l'étude d'impact 2019.

L'analyse de sensibilité reprend la modélisation 2020 pour le critère annuel de la silice cristalline et évalue l'effet de ces nouveaux paramètres sur les résultats de modélisation, et ce, afin de s'assurer que la modélisation 2020 ne sous-estime pas les concentrations moyennes annuelles attendues de silice cristalline dans l'air ambiant aux récepteurs sensibles. Les paramètres de modélisation qui ont été modifiés dans la présente étude comprennent les données météo, l'atténuation du routage, les précipitations, le ratio de SiO_2 dans les PM4 et la teneur en silice cristalline dans les particules fines pouvant être mises en suspension par le passage des camions sur les routes de halages.

Les résultats révisés montrent que pour tous les nouveaux scénarios de teneurs de silice cristalline considérées, les concentrations modélisées sont inférieures à la concentration correspondante modélisée en 2020, soit lorsque les mêmes mesures d'atténuation sont considérées (annexe C). Pour la teneur la plus réaliste et représentative des surfaces de roulement du site minier, soit le scénario 4 (0,45 %), les concentrations modélisées de silice cristalline sont environ la moitié de celles correspondantes modélisées en 2020.

En somme, l'utilisation de données météorologiques plus représentatives du site, l'uniformisation de l'atténuation des impacts du routage en fonction des autres projets miniers et la révision de la teneur en silice cristalline sur les routes pour une valeur plus réaliste et représentative du site induisent une réduction importante des concentrations modélisées aux récepteurs sensibles par rapport à celles de la modélisation 2020.

3 PROGRAMME DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE

3.1 PROGRAMME DE SUIVI DE LA SURFACE DE ROULEMENT DES ROUTES DE HALAGE

En fonction des résultats obtenus lors de la caractérisation de la teneur réelle en silice cristalline dans les particules fines des matériaux composant la surface de roulement des routes de halage au site de la mine de fer du lac Bloom, un programme de suivi de la surface de roulement des routes de halage a été élaboré.

L'échantillonnage des matériaux composant la surface de roulement des routes de halage aura lieu suite à la construction ou l'entretien de la route aux récurrences décrites dans la condition 4 du décret. La note technique présentée à l'annexe D détaille la méthodologie proposée pour ce suivi.

Ce suivi annuel, basé sur l'analyse de la teneur en silice dans les particules fines des matériaux composant la surface de roulement des routes de halage sur le site minier, réalisé en complément avec la mise en place d'un registre des matériaux utilisés pour la construction et l'entretien des routes de halage, permettra de rencontrer l'objectif visé par la condition 4 du décret.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- WSP. 2016. *Modélisation des concentrations de silice cristalline, Projet d'extension de la mine aurifère Canadian Malartic. Trois-Rivières, Québec*. Mémo technique produit pour Canadian Malartic GP.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2020. *Rapport d'analyse environnementale pour le projet minier Matawinie sur le territoire de la municipalité de Saint-Michel-des-Saints* par Nouveau Monde Graphite Inc., Dossier 3211-16-019.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2021. *Rapport d'analyse environnementale pour le projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine de fer du lac Bloom sur le territoire de la municipalité régionale de comté de Caniapiscau* par Minerai de fer Québec Inc., Dossier 3211-16-011. 85 pages + annexes.

ANNEXE

A CARACTÉRISATION DE LA SILICE CRISTALLINE DE L'AMPHIBOLITE

CONFIDENTIEL

MEMORANDUM TECHNIQUE

DATE 6 octobre 2022 **N° de référence** 006-2149698602-MTF-Rev0

À Michel Groleau, Directeur corporatif affaires gouvernementales
Minerai de Fer Québec, Fermont, Québec

C.C

DE Christian Sole (géo. stag., M.Sc.) et
Youri Brochu (géo., M.Sc.A.) **ADRESSE COURRIEL youri.brochu@wsp.com**

ÉTUDE MINÉRALOGIQUE POUR L'ÉVALUATION DE LA TENEUR EN SILICE CRISTALLINE DANS LES STÉRILES D'AMPHIBOLITE DE LA MINE DU LAC BLOOM, FERMONT, QUÉBEC

1.0 INTRODUCTION

Minerai de Fer Québec Inc. (MFQ) a mandaté Golder Associés Ltée (WSP Golder ou Golder) pour effectuer une étude minéralogique des stériles miniers de l'amphibolite du gisement de fer de la mine du Lac Bloom (la mine) à Fermont, Québec.

1.1 Contexte et objectif

MFQ souhaite d'augmenter la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine de fer Lac Bloom avec la construction de la halde Sud-Ouest. Afin de procéder à l'autorisation de ce projet, le MELCC a demandé en février 2021 (QC AE-18) et en août 2021 (QC AE2-21) que MFQ dépose « une étude complémentaire démontrant qu'une teneur en silice cristalline (SiO_2) de 2 % dans les stériles d'amphibolite est réaliste. » La réponse à la QC AE2-21 stipule que : « MFQ s'engage à utiliser uniquement des matériaux dont la teneur en SiO_2 cristalline n'excède pas 2 % pour la construction et l'entretien de la couche de roulement des routes de halage. »

La silice cristalline correspond à un groupe de minéraux de formule SiO_2 qui comporte plusieurs formes cristallines. Le quartz alpha en est l'espèce la plus commune, mais les polymorphes cristobalite et tridymite, qui présentent la même composition chimique SiO_2 mais ont une structure cristalline différente, peuvent aussi être observés dans certaines conditions géologiques. La cristobalite et tridymite sont généralement stables dans des conditions de très haute température (supérieure à 1400°C) sous leur forme cristalline bêta, une condition qui n'a pas été atteinte à la mine dont le socle rocheux sous-jacent est classé comme faciès métamorphique des schistes verts. Il existe toutefois une forme rare et métastable de cristobalite alpha pouvant se former à plus basse température (autour de 250°C).

Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer la teneur en silice cristalline de l'amphibolite que MFQ prévoit d'utiliser comme matériel pour la construction et l'entretien de la couche de roulement des routes de halage au site de la mine du Lac Bloom. Cette étude vise donc à fournir un portrait global des teneurs en silice cristalline des stériles miniers d'amphibolite de la mine qui seront extraits jusqu'en 2040, selon le plan de minage émis en 2019 par MFQ.

Dans ce document, le terme « silice cristalline » est utilisé comme étant la combinaison du quartz alpha, de la cristobalite et de la tridymite. De plus, les teneurs en silice cristalline présentées dans ce document sont des % massiques.

1.2 Équipe de projet

Les membres de l'équipe pour cette étude minéralogique, ainsi que leur rôle et responsabilité, étaient les suivants.

- Christian Sole (géo stag., M.Sc.)
  - Chargé de projet
  - Échantillonnage des carottes de stériles miniers
  - Compilation et interprétation des données
  - Rédaction du rapport
- Valérie Bertrand (géo., M.Sc.A.), géochimiste principale
  - Conseillère technique
- Youri Brochu (géo., M.Sc.A.), hydrogéologue principal
  - Directeur du projet
  - Révision technique de l'interprétation des données et du rapport

2.0 PROGRAMME D'ÉCHANTILLONNAGE

Un total de 107 échantillons de stériles miniers d'amphibolite a été prélevé en 2021 parmi les carottes de forage entreposées au site de la mine. Chaque échantillon était constitué d'un composite dont les prélèvements, d'un total de 3 à 5 kg, provenaient d'une section d'environ 5 m de carottes de forage. Cet échantillonnage a été effectué dans le cadre de la caractérisation géoenvironnementale des stériles de la mine (Golder, 2022) et fournit un portrait global des propriétés géoenvironnementales et minéralogiques des stériles de la mine qui seront extraits jusqu'en 2040, selon le plan de minage émis en 2019 par MFQ.

Un sommaire des tonnages totaux pour chaque lithologie de stériles miniers, dont l'amphibolite, est présenté au Tableau 1. L'amphibolite est la lithologie qui générera le plus gros volume de stériles jusqu'en 2040, soit 63 % du tonnage total des stériles.

Tableau 1: Nombre d'échantillons de roches stériles prélevés en 2021 à la mine du Lac Bloom en comparaison avec les volumes de stériles à extraire jusqu'en 2040

Lithologie / Groupe lithologique des stériles (1)	Tonnage total (t) (1)	% du tonnage total des stériles (1)
Amphibolite (AMP)	435 333 800	63
Gneiss (GN)	119 811 600	17
Quartzite (QR)	97 074 260	14
Formation de fer à oxydes à basse teneur (QRIF)	23 350 980	< 5
Formation de fer à silicates à basse teneur (WSIF)	14 929 141	< 5
Schiste à mica (MS)	538 361	< 5
Total	**691 041 934**	**100 %**

Notes
(1) : L'abréviation de la lithologie ou du groupe lithologique est écrite entre parenthèses.
(2) : Tonnage total de stériles à extraire qui seront extraits jusqu'en 2040, selon le plan de minage émis en 2019 par MFQ.

2.1 Modèle géologique

La localisation des 107 échantillons d'amphibolite est présentée dans le modèle géologique 3D de l'unité d'amphibolite de la mine aux figures 1A et 1B. Ces figures de localisation en 3D indiquent que les échantillons de carottes ont été prélevés sur une grille relativement régulière couvrant l'ensemble de l'enveloppe des stériles miniers d'amphibolite de la fosse (plan de minage jusqu'en 2040).

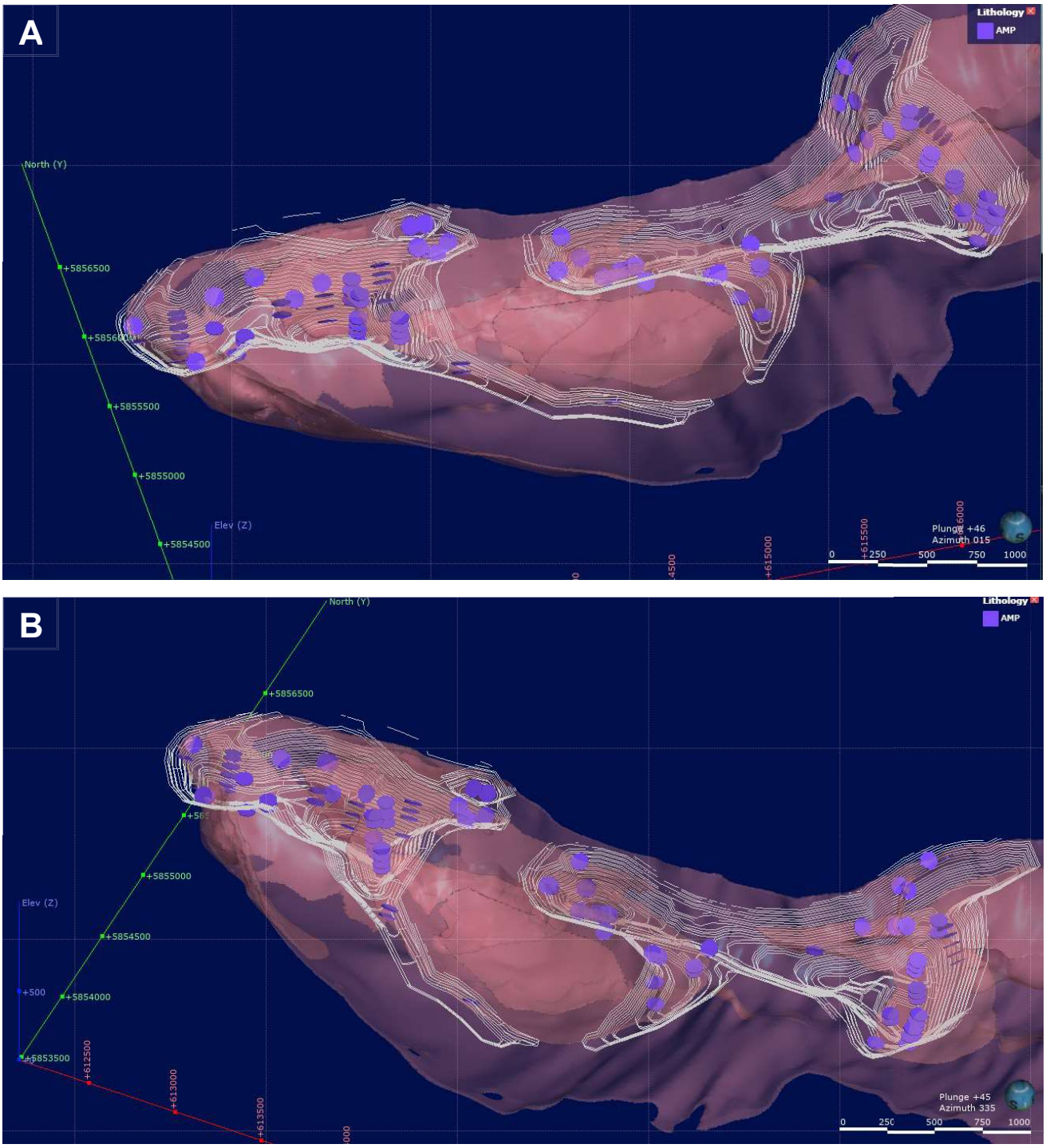


Figure 1: (A) Vue isométrique vers le nord-est de la mine du Lac Bloom avec la localisation des 107 échantillons d'amphibolite prélevés en 2021. (B) Vue isométrique vers le nord-ouest de la mine du Lac Bloom avec la localisation des 107 échantillons d'amphibolite prélevés en 2021. Les blocs d'amphibolite du modèle géologique sont illustrés en rose. L'empreinte de la fosse est illustrée en blanc. AMP (mauve) = Amphibolite.

3.0 PROGRAMME ANALYTIQUE

L'ensemble des 107 échantillons d'amphibolite prélevés ont été analysés pour leur composition minéralogique, notamment en silice cristalline, par analyses de diffraction des rayons X (DRX). Les analyses minéralogiques de ces échantillons ont été réalisées par le laboratoire SGS (Lakefield, Ontario). Les résultats sont présentés à la section 4.0.

Les polymorphes de silice cristalline ont été quantifiés par la méthode d'ajout de standard (quartz alpha pur et LiF) et par la méthode Rietveld, lors d'une étape subséquente. Puisque l'affinement par la méthode Rietveld est automatisé, les phases minéralogiques ayant des teneurs inférieures à 0,5 % massique sont considérées comme étant négligeables ou affectées par une quantification imprécise.

Afin de valider les résultats présentés dans cette étude, un programme d'assurance et contrôle de la qualité interlaboratoire a été établi. La teneur en quartz alpha de 20 duplicatas d'échantillons d'amphibolite a été mesurée en supplément par DRX avec un affinement par la méthode Rietveld au laboratoire Corem à Québec (section 4.2).

4.0 RÉSULTATS

4.1 Analyses minéralogiques

Les résultats des analyses minéralogiques par DRX de l'amphibolite sont compilés au Tableau A1 de l'annexe A. Un sommaire de ces résultats qui concernent les teneurs des polymorphes de silice cristalline est présenté au Tableau 2.

Tableau 2 : Sommaire des teneurs en silice cristalline provenant d'analyses minéralogiques DRX du laboratoire SGS sur les échantillons de stériles miniers d'amphibolite

Lithologie Nombre d'échantillons (n)		Quartz alpha (% massique)	Cristobalite (1) (% massique)	Tridymite (1) (% massique)	Silice cristalline (% massique)
Amphibolite n = 107	Moyenne	4,5	0,61	< 0,5	5,1
	Minimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6
	25e centile	2,9	< 0,5	< 0,5	3,5
	50e centile	4,0	< 0,5	< 0,5	4,8
	75e centile	5,6	0,9	< 0,5	6,2
	Maximum	13	3,4	< 0,5	13
	Écart-type	2,3	0,6	< 0,5	2,4

Note
(1) : Une valeur de < 0,5 % massique indique que le minéral a été inclus lors de la procédure d'affinage durant son analyse, mais que la concentration calculée est inférieure à la valeur quantifiable de 0,5 % massique (tel que précisé par SGS).

4.2 Programme d'assurance et contrôle de la qualité interlaboratoire

Les analyses par diffraction des rayons X (DRX) menées par SGS ont mis en évidence la présence de quartz alpha dans les échantillons d'amphibolite. La méthode utilisée par SGS permet la distinction des polymorphes de silice

cristalline que sont la cristobalite et la tridymite. Des traces de cristobalite ont pu être identifiées, mais les teneurs mesurées sont en deçà des limites de quantification de la méthode, soit 0,5 % massique. Les teneurs en tridymite étant systématiquement inférieure à la limite de quantification et peuvent donc être considérées comme étant négligeables, tel que décrit à la section 3.0.

Le contrôle qualité des analyses DRX effectué par le laboratoire de Corem avec une méthode permettant la quantification du quartz alpha uniquement, a confirmé la présence de quartz alpha avec des teneurs très similaires à celle de SGS, ce qui confirme qu'il s'agit de la forme de silice cristalline majoritaire dans les échantillons d'amphibolite. Les faibles différences mesurées, généralement inférieures à 30 %, sont celles attendues lors d'une analyse de duplicatas. Les paramètres statistiques des résultats du laboratoire de Corem sont présentés au Tableau 3, et ceux de SGS le sont au Tableau 2.

Ainsi, les résultats de teneur en silice cristalline fournis par le laboratoire SGS sont jugés comme étant satisfaisants pour les objectifs de cette étude minéralogiques.

Tableau 3: Sommaire des teneurs en quartz alpha provenant d'analyses minéralogiques DRX du laboratoire de Corem sur les échantillons de stériles miniers d'amphibolite

Lithologie Nombre d'échantillons (n)	Quartz alpha (% massique)	
Amphibolite n = 20	Moyenne	4,9
	Minimum	0,9
	25^{e} centile	3,5
	50^{e} centile	4,9
	75^{e} centile	6,0
	Maximum	9,1
	Écart-type	1,9

4.3 Distribution statistique

Les graphiques des figures 2 et 3 illustrent respectivement un histogramme et un graphique de la fonction de densité de probabilité des teneurs en silice cristalline mesurées dans l'amphibolite. Les graphiques indiquent que les échantillons d'amphibolite prélevés montrent une distribution lognormale pour la silice cristalline, notamment car ils forment une ligne droite sur la Figure 3. De plus, il n'y a pas d'évidence de l'existence de sous-groupe minéralogique distinct, alors il s'agit d'une population unique. Par conséquent, les résultats de cette étude indiquent que le nombre d'échantillons prélevés pour cette caractérisation de la teneur en silice cristalline, considérant que leur distribution spatiale est répartie sur l'ensemble du volume de la mine, est suffisant pour caractériser les paramètres statistiques (minimum, moyenne, maximum, centiles, écart-type) des teneurs en silice cristalline de l'amphibolite pour l'ensemble de la fosse.

La figure 3 indique que seulement 5 % de la distribution des échantillons de stériles miniers d'amphibolite analysés ont une teneur en silice cristalline inférieure au seuil de 2 % massique. Puisque l'amphibolite générera 63 % du tonnage total des stériles à extraire jusqu'en 2040 selon le plan de minage de MFQ émis en 2019 (Tableau 1), alors ce 5 % du tonnage total de l'amphibolite signifie qu'il y a seulement 3 % des stériles miniers de l'ensemble de la mine qui auront une teneur en silice cristalline inférieure au seuil de 2 % massique.

En contraste, environ 50 % de l'amphibolite a une teneur en silice cristalline inférieure à 5 %, soit environ 31 % des stériles miniers sur l'ensemble de la mine.

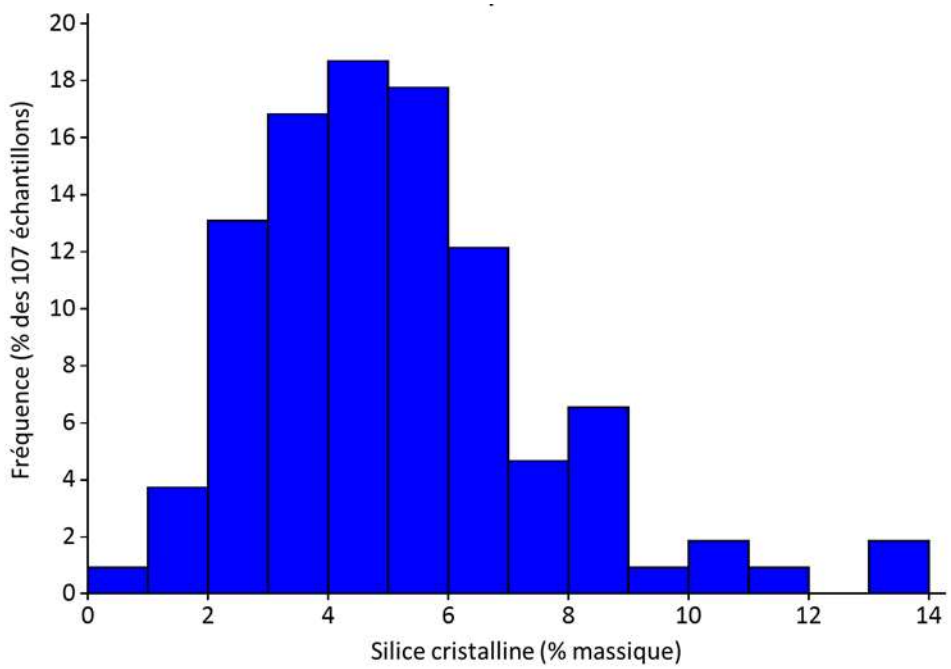


Figure 2: Histogramme de la distribution en silice cristalline des échantillons d'amphibolite.

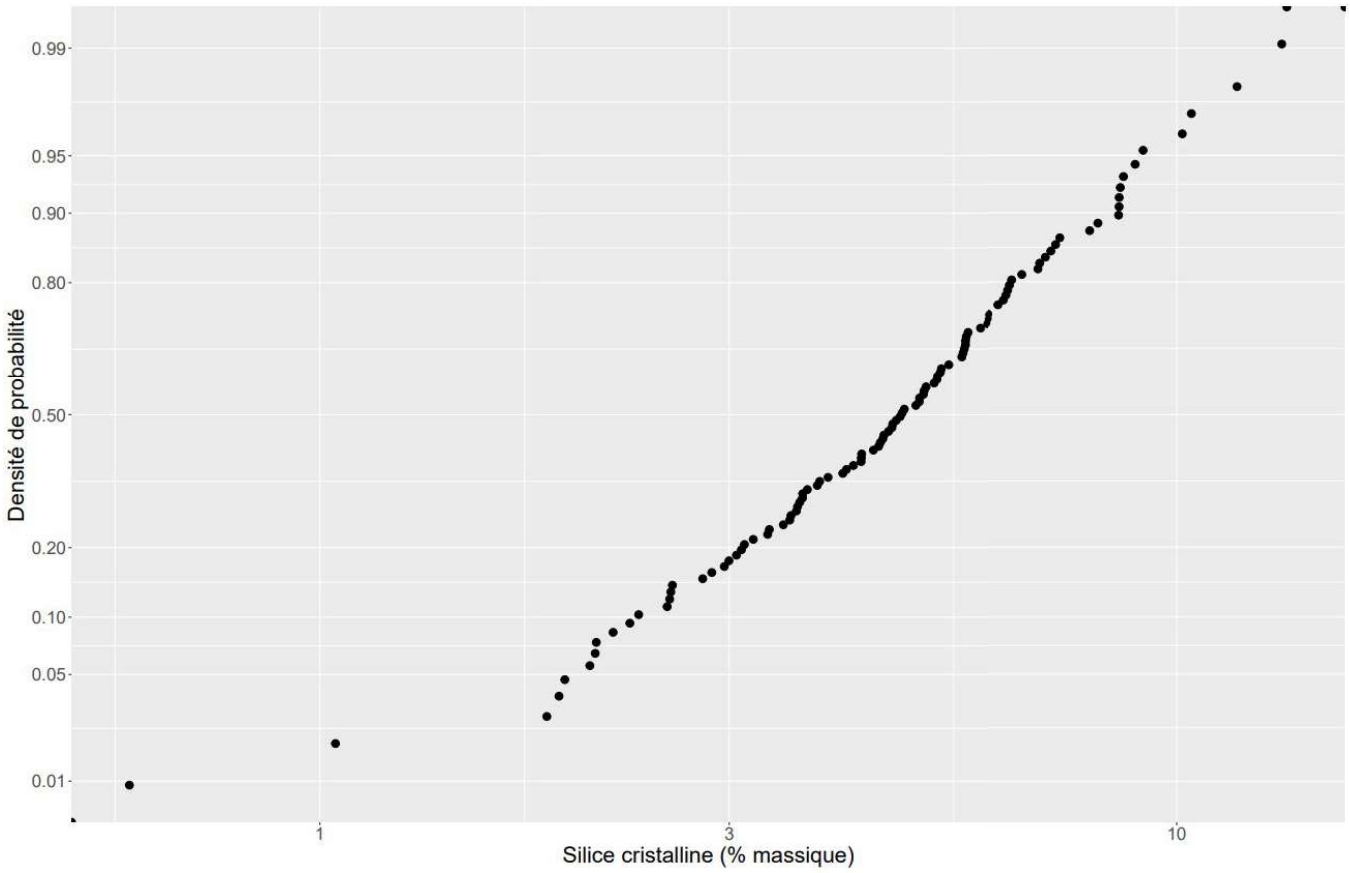


Figure 3: Graphique de la fonction de densité de probabilité de la teneur en silice cristalline des échantillons d'amphibolite.

4.4 Localisation des échantillons selon leur teneur en silice cristalline

Les figures 4A-B et 5A-B illustrent respectivement la distribution spatiale des échantillons d'amphibolite ayant des teneurs en silice cristalline < 2 % massique et < 5 % massique.

Les figures 4A-B illustrent que la faible quantité d'échantillons d'amphibolite ayant une teneur en silice cristalline inférieure à 2 % massique est présente à des endroits localisés autant dans le secteur est que le secteur ouest de la fosse.

En comparaison, les figures 5A-B montrent que sur les emplacements d'échantillons dont la teneur en silice cristalline est inférieure à 5 % massique, soit l'équivalent de la teneur moyenne en silice cristalline mesurée dans l'amphibolite, il existe dans l'ensemble de la fosse une multitude d'emplacements dont les échantillons d'amphibolite ont une teneur en silice inférieure à 5 % massique, et ce, autant dans le secteur est que le secteur ouest de la fosse.

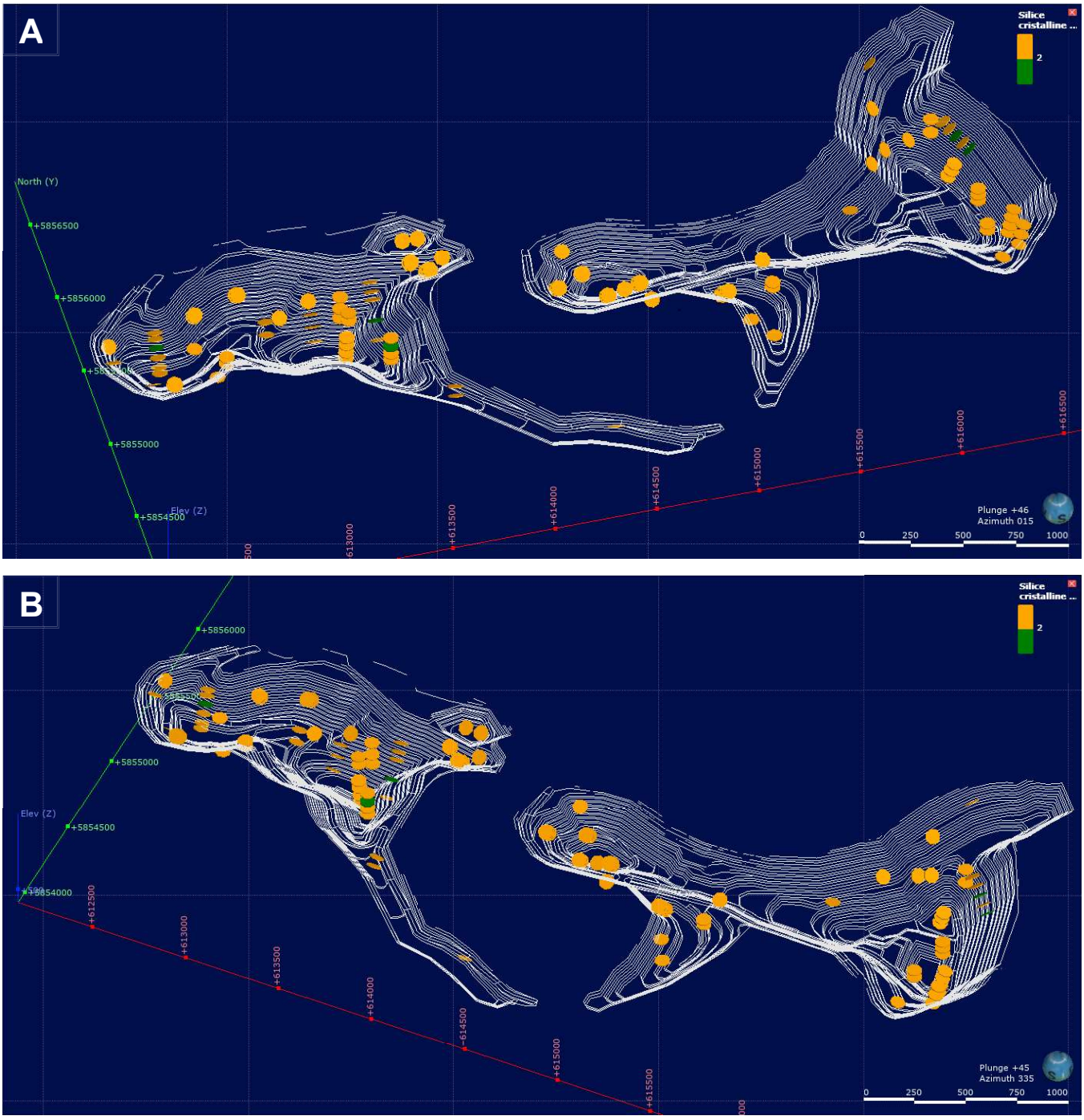


Figure 4: (A) Vue isométrique vers le nord-est de la mine du Lac Bloom avec la localisation des 107 échantillons d'amphibolite analysés. (B) Vue isométrique vers le nord-ouest de la mine du Lac Bloom avec la localisation des 107 échantillons d'amphibolite analysés. Les échantillons d'amphibolite avec une teneur en silice cristalline inférieure à 2 % massique sont illustrés en vert et ceux dont la teneur est supérieure à 2 % massique sont illustrés en orange.

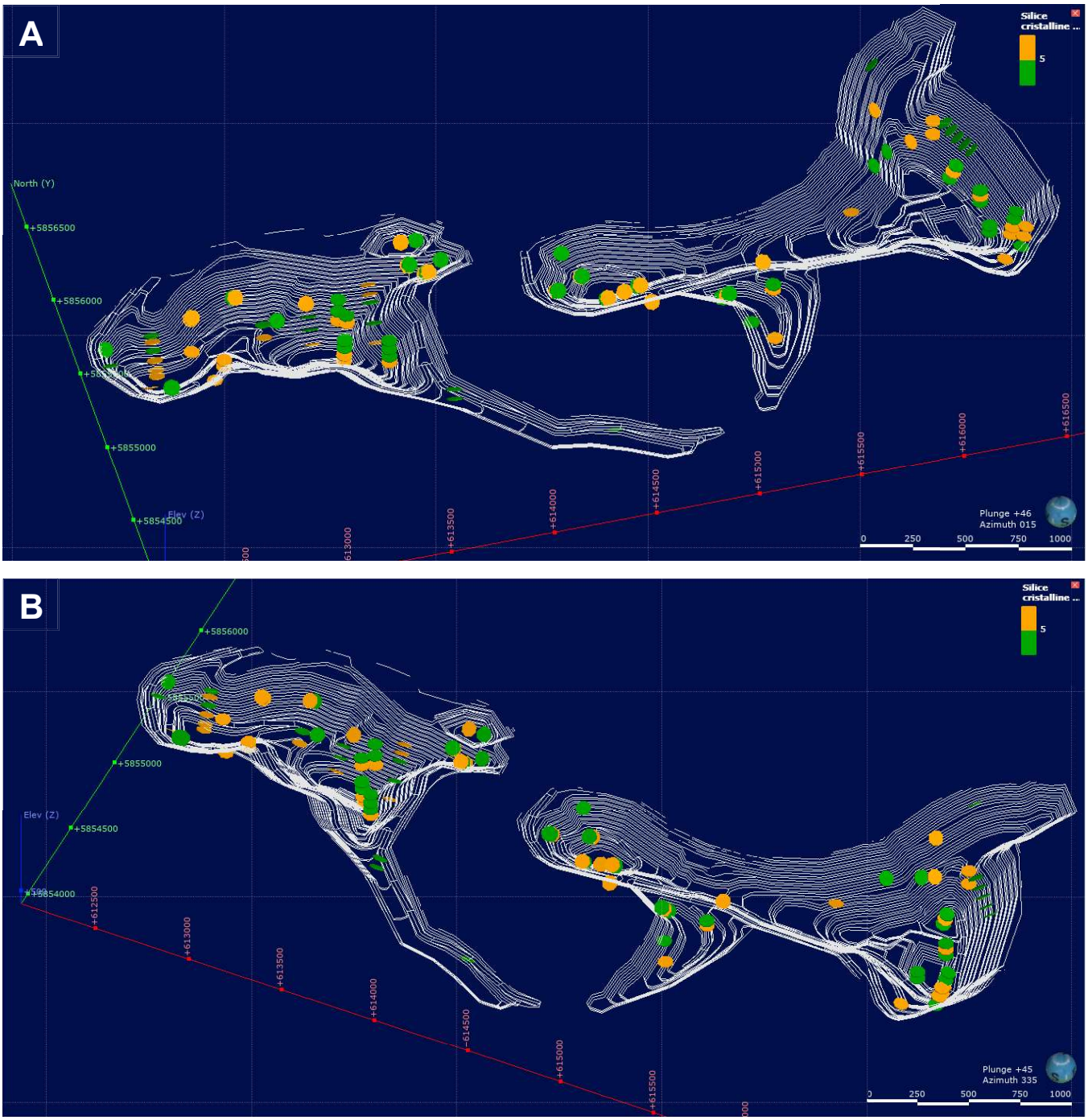


Figure 5: (A) Vue isométrique vers le nord-est de la mine du Lac Bloom avec la localisation des 107 échantillons d'amphibolite analysés. (B) Vue isométrique vers le nord-ouest de la mine du Lac Bloom avec la localisation des 107 échantillons d'amphibolite analysés. Les échantillons d'amphibolite avec une teneur en silice cristalline inférieure à 5 % massique sont illustrés en vert et ceux dont la teneur est supérieure à 5 % massique sont illustrés en orange.

5.0 CONCLUSION

Les résultats de cette étude fournissent un portrait global de la teneur en silice cristalline (quartz alpha, cristobalite, et tridymite) des stériles miniers d'amphibolite qui seront extraits jusqu'en 2040 à la mine du Lac Bloom. Les teneurs en silice cristalline des 107 échantillons d'amphibolite analysés suivent une distribution lognormale avec une teneur moyenne de 5,1 % massique.

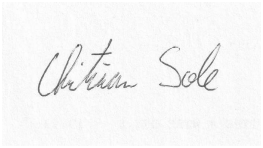
Il a été démontré que seulement 5 % des échantillons d'amphibolite analysés ont une teneur en silice cristalline inférieure à 2 % massique tel que demandé dans la QC AE2-21 du MELCC. Par conséquent, en considérant que l'amphibolite est la seule unité de stériles de la mine qui comporte de faibles teneurs en silice cristalline, il n'y a que 3 % des stériles miniers de l'ensemble de la mine qui ont une teneur en silice cristalline inférieure au seuil de 2 % massique. Les cinq échantillons d'amphibolite respectant le critère du 2 % massique en silice cristalline sont répartis de manière aléatoire dans la fosse.

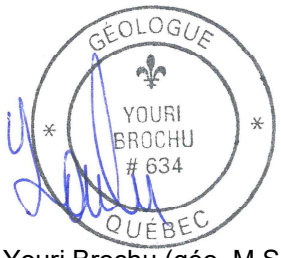
Cependant, les résultats de cette étude minéralogique indiquent qu'environ 50 % de l'amphibolite a une teneur en silice cristalline inférieure à 5 % massique, et que ces échantillons sont localisés dans une multitude d'emplacements, autant dans les secteurs est et ouest de la fosse. Cette constatation signifie qu'environ 31 % des stériles miniers sur l'ensemble de la mine ont une teneur en silice cristalline inférieure à 5 % massique, mais qu'ils sont distribués de manière aléatoire dans la fosse.

6.0 CONDITIONS GÉNÉRALES ET LIMITATIONS

Les conditions générales ainsi que les limitations à la présente étude sont présentées dans le document joint à l'annexe C intitulé « Conditions générales et limitations - Rapport d'expertise technique ».

Golder Associés Ltée





Christian Sole (géo stag. M.Sc.)
Géochimiste junior

Youri Brochu (géo. M.Sc.A.)
Hydrogéologue principal

CS/YB/cd

Pièces jointes: Annexe A : Tableaux des résultats des analyses minéralogiques
Annexe B : Certificats d'analyses du laboratoire
Annexe C : Conditions générales et limitations - Rapport d'expertise technique

RÉFÉRENCE

Golder Associés Ltée, 2022. *Caractérisation géoenvironnementale des stériles de la mine du Lac Bloom, Fermont, Québec.* Nº de référence: 009-19133147-RF-Rev0 en date du 30 juin 2022.

ANNEXE A

Tableaux des résultats des analyses minéralogiques

Minerai de Fer Québec - Mine Lac Bloom

Tableau A1. Analyses minéralogiques DRX

Échantillon	Lithologie	Quartz alpha	Cristobalite	Tridymite	Silice cristalline
		% massique	% massique	% massique	% massique
98DN-002-AMP-65-70	Amphibolite	7,6	0,32	0	7,9
98DN-005-AMP-50-55	Amphibolite	3,8	0,31	0	4,1
98DN-007-AMP-81-86	Amphibolite	4,7	0,36	0	5,1
98DN-007-AMP-238-244	Amphibolite	4,6	0	0	4,6
98DN-015-AMP-55-60	Amphibolite	2,1	0	0	2,1
98DN-038-AMP-30-35	Amphibolite	4,4	0,14	0	4,5
98DN-038-AMP-70-75	Amphibolite	5,1	0,93	0	6,0
98DN-038-AMP-110-115	Amphibolite	3,5	0,57	0	4,1
98DN-045-AMP-142-147	Amphibolite	11	0,55	0	12
98DN-048-AMP-50-55	Amphibolite	6,9	1,7	0	8,6
98DN-048-AMP-140-145	Amphibolite	5,6	0,79	0	6,4
98DN-049-AMP-20-25	Amphibolite	1,9	0,68	0	2,6
98DN-049-AMP-70-75	Amphibolite	4,7	1,2	0	5,9
98DN-049-AMP-120-125	Amphibolite	3,8	0,48	0	4,3
98DN-053-AMP-50-55	Amphibolite	2,2	1,1	0	3,3
98DN-053-AMP-100-105	Amphibolite	5,0	0	0	5,0
98DN-053-AMP-150-155	Amphibolite	0,7	0,24	0,11	1,0
98DN-053-AMP-200-205	Amphibolite	4,2	0,45	0	4,7
98DN-053-AMP-245-250	Amphibolite	0,6	0	0	0,6
98DN-068-AMP-20-25	Amphibolite	5,3	0,9	0	6,2
98DN-069-AMP-10-15	Amphibolite	3,5	1,5	0	5,0
98DN-069-AMP-55-60	Amphibolite	3,9	0,8	0	4,7
98DN-072-AMP-10-15	Amphibolite	4,3	0,47	0	4,8
98DN-072-AMP-60-65	Amphibolite	0,3	2,6	0	2,9
98DN-072-AMP-110-115	Amphibolite	3,5	1,7	0	5,2
98DN-072-AMP-155-160	Amphibolite	3,7	1,4	0	5,1
98DN-073-AMP-10-15	Amphibolite	4,0	1,2	0	5,2
98DN-073-AMP-70-75	Amphibolite	4,3	1,4	0	5,7
98DN-073-AMP-130-135	Amphibolite	3,2	1,3	0	4,5
BL-10-08-AMP-45-50	Amphibolite	4,5	1,2	0	5,7
BL-10-08-AMP-85-90	Amphibolite	2,5	1,8	0	4,3
BL-10-08-AMP-140-145	Amphibolite	7,1	1,5	0	8,6
BL-10-14-AMP-50-55	Amphibolite	2,7	1,9	0	4,6
BL-10-14-AMP-80-85	Amphibolite	2,6	2,1	0	4,7
BL-10-14-AMP-115-120	Amphibolite	7,2	1,4	0	8,6
BL-10-20-AMP-35-40	Amphibolite	3,1	1,3	0	4,4
BL-10-20-AMP-70-75	Amphibolite	10	0	0	10
BL-10-22-AMP-36-41	Amphibolite	7,7	1,2	0	8,9
BL-10-28-AMP-95-100	Amphibolite	3,7	1,4	0	5,1
BL-10-28-AMP-155-160	Amphibolite	1,5	0,85	0	2,3
BL-10-30-AMP-130-135	Amphibolite	5,3	0,001	0	5,3
BL-10-36-AMP-110-115	Amphibolite	6,4	0,53	0	6,9
BL-10-36-AMP-150-155	Amphibolite	3,6	1,2	0	4,8
BL-10-43-AMP-50-55	Amphibolite	2,6	0,36	0	3,0
BL-10-43-AMP-130-135	Amphibolite	2,6	0,4	0	3,0
BL-10-43-AMP-195-200	Amphibolite	5,9	0,1	0	6,0

Minerai de Fer Québec - Mine Lac Bloom

Tableau A1. Analyses minéralogiques DRX

Échantillon	Lithologie	Quartz alpha	Cristobalite	Tridymite	Silice cristalline
		% massique	% massique	% massique	% massique
BL-10-44-AMP-10-15	Amphibolite	3,8	0	0	3,8
BL-10-44-AMP-60-65	Amphibolite	6,2	0	0	6,2
BL-10-44-AMP-190-195	Amphibolite	3,7	0	0	3,7
BL-10-44-AMP-245-250	Amphibolite	4,5	0	0	4,5
BL-10-44-AMP-305-310	Amphibolite	5,3	0,73	0	6,0
BL-10-44-AMP-355-360	Amphibolite	5,6	0	0	5,6
BL-10-68-AMP-10-15	Amphibolite	3,1	0	0	3,1
BL-10-68-AMP-65-70	Amphibolite	1,9	0	0	1,9
BL-10-68-AMP-115-120	Amphibolite	3,2	0	0	3,2
BL-10-68-AMP-155-160	Amphibolite	8,1	0	0	8,1
BL-10-75-AMP-115-120	Amphibolite	5,6	0	0	5,6
BL-12-06-AMP-65-70	Amphibolite	3,9	0,011	0	3,9
BL-12-06-AMP-95-100	Amphibolite	4,0	2,4	0	6,4
BL-12-06-AMP-140-145	Amphibolite	1,6	0,15	0,088	1,8
BL-12-06-AMP-190-195	Amphibolite	7,8	0,87	0	8,7
BL-12-06-AMP-240-245	Amphibolite	5,3	0,34	0	5,6
BL-12-06-AMP-270-275	Amphibolite	6,8	0,24	0	7,0
BL-12-07-AMP-33-38	Amphibolite	8,6	0	0	8,6
BL-12-09-AMP-50-55	Amphibolite	3,4	0,2	0	3,6
BL-12-09-AMP-100-105	Amphibolite	2,4	0,16	0	2,6
BL-12-14-AMP-116-121	Amphibolite	6,0	0,33	0	6,3
BL-12-14-AMP-155-160	Amphibolite	5,2	0,21	0	5,4
BL-12-16-AMP-10-15	Amphibolite	2,1	0,44	0	2,5
BL-12-16-AMP-65-70	Amphibolite	5,0	0,62	0	5,6
BL-12-16-AMP-120-125	Amphibolite	1,3	0,76	0,009	2,1
BL-12-16-AMP-170-175	Amphibolite	4,5	0,5	0	5,0
BL-12-28-AMP-75-80	Amphibolite	3,5	0,15	0	3,7
BL-12-28-AMP-140-145	Amphibolite	6,9	0,24	0	7,1
BL-12-29-AMP-115-120	Amphibolite	3,9	0,29	0	4,2
BL-12-31-AMP-100-105	Amphibolite	3,6	0,22	0	3,8
BL-12-31-AMP-160-165	Amphibolite	2,5	0,29	0	2,8
BL-12-31-AMP-230-235	Amphibolite	6,9	0,42	0	7,3
BL-12-38-AMP-130-135	Amphibolite	9,0	0,14	0	9,1
BL-12-38-AMP-200-205	Amphibolite	2,4	0,17	0	2,6
BL-12-40-AMP-119-124	Amphibolite	7,2	0,034	0	7,2
BL-12-40-AMP-160-165	Amphibolite	10	3,4	0	13
BL-12-42-AMP-14-19	Amphibolite	5,5	0,79	0	6,3
BL-12-42-AMP-60-65	Amphibolite	6,3	0,31	0	6,6
BL-12-42-AMP-100-105	Amphibolite	2,1	0,25	0	2,4
BL-12-42-AMP-200-205	Amphibolite	0,9	1,0	0	1,9
BL-12-42-AMP-295-300	Amphibolite	4,0	1,3	0	5,3
BL-12-43-AMP-35-40	Amphibolite	6,9	0	0	6,9
BL-12-56-AMP-45-50	Amphibolite	2,5	1,0	0,008	3,5
BL-12-61-AMP-218-223	Amphibolite	4,9	0,68	0,087	5,7
BL-12-70-AMP-90-95	Amphibolite	1,8	0,25	0,047	2,1

Minerai de Fer Québec - Mine Lac Bloom

Tableau A1. Analyses minéralogiques DRX

Échantillon	Lithologie	Quartz alpha	Cristobalite	Tridymite	Silice cristalline
		% massique	% massique	% massique	% massique
BL-12-71-AMP-85-90	Amphibolite	2,9	0,23	0	3,1
BL-12-76-AMP-15-20	Amphibolite	3,4	0,23	0	3,6
BL-12-76-AMP-60-65	Amphibolite	3,4	0	0,069	3,5
BL-12-90-AMP-15-20	Amphibolite	3,0	0,59	0	3,6
BL-12-90-AMP-50-55	Amphibolite	5,5	0,2	0	5,7
BL-12-95-AMP-45-50	Amphibolite	4,8	0,44	0	5,2
BL-18-05-AMP-77-82	Amphibolite	4,1	0,18	0	4,3
BL-20-31-AMP-83-88	Amphibolite	1,8	0,4	0	2,2
BL-20-50-AMP-15-20	Amphibolite	2,9	0,75	0	3,7
BLW-12-011-AMP-122-127	Amphibolite	9,6	0,55	0	10
BP-18-02-AMP-115-120	Amphibolite	3,2	0,28	0,048	3,5
BP-18-02-AMP-165-170	Amphibolite	5,9	0,53	0	6,4
BP-18-09-AMP-10-15	Amphibolite	3,0	0,33	0	3,3
98DN-061-AMP-130-135	Amphibolite	13	0,24	0	13
BL-12-101-AMP-70-75	Amphibolite	2,1	0,96	0	3,1
BL-12-55-AMP-56-61	Amphibolite	4,4	0,13	0	4,5
Nombre		107	107	107	107
Min		0,3	0	0	0,6
Max		13	3,4	0,11	13
Moyenne		4,5	0,61	0,0043	5,1
Écart type		2,3	0,64	0,018	2,4
25e centile		2,9	0,15	0	3,5
50e centile		4,0	0,4	0	4,8
75e centile		5,6	0,93	0	6,2

ANNEXE B

Certificats d'analyse du laboratoire

Quantitative X-Ray Diffraction by Rietveld Refinement

Report Prepared for:	*Environmental Services*
Project Number/ LIMS No.	*Custom XRD/MI4523-FEB22*
Sample Receipt:	*February 17, 2022*
Sample Analysis:	*March 27, 2022*
Reporting Date:	*April 25, 2022*

Instrument:	BRUKER AXS D8 Advance Diffractometer
Test Conditions:	Co radiation, 35 kV, 40 mA Regular Scanning: Step: 0.02°, Step time: 1s, 2θ range: 6-70°
Interpretations :	PDF2/PDF4 powder diffraction databases issued by the International Center for Diffraction Data (ICDD). DiffracPlus Eva and Topas software.
Detection Limit :	0.5-2%. Strongly dependent on crystallinity.

Contents:

1) Method Summary
2) Quantitative XRD Results
3) XRD Pattern(s)

Kim Gibbs, H.B.Sc., P.Geo.
Senior Mineralogist

Huyun Zhou, Ph.D., P.Geo.
Senior Mineralogist

ACCREDITATION: SGS Natural Resources Lakefield is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025 for specific tests as listed on our scope of accreditation, including geochemical, mineralogical and trade mineral tests. To view a list of the accredited methods, please visit the following website and search SGS Canada Inc. - Minerals: https://www.scc.ca/en/search/palcan.

Method Summary

The Rietveld Method of Mineral Identification by XRD (ME-LR-MIN-MET-MN-D05) method used by SGS Natural Resources is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025.

Mineral Identification and Interpretation:

Mineral identification and interpretation involves matching the diffraction pattern of an unknown material to patterns of single-phase reference materials. The reference patterns are compiled by the Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Center for Diffraction Data (JCPDS-ICDD) database and released on software as Powder Diffraction Files (PDF).

Interpretations do not reflect the presence of non-crystalline and/or amorphous compounds, except when internal standards have been added by request. Mineral proportions may be strongly influenced by crystallinity, crystal structure and preferred orientations. Mineral or compound identification and quantitative analysis results should be accompanied by supporting chemical assay data or other additional tests.

Quantitative Rietveld Analysis:

Quantitative Rietveld Analysis is performed by using Topas 4.2 (Bruker AXS), a graphics based profile analysis program built around a non-linear least squares fitting system, to determine the amount of different phases present in a multicomponent sample. Whole pattern analyses are predicated by the fact that the X-ray diffraction pattern is a total sum of both instrumental and specimen factors. Unlike other peak intensity-based methods, the Rietveld method uses a least squares approach to refine a theoretical line profile until it matches the obtained experimental patterns.

Rietveld refinement is completed with a set of minerals specifically identified for the sample. Zero values indicate that the mineral was included in the refinement calculations, but the calculated concentration was less than 0.05wt%. Minerals not identified by the analyst are not included in refinement calculations for specific samples and are indicated with a dash.

DISCLAIMER: This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

WARNING: The sample(s) to which the findings recorded herein (the "Findings") relate was(were) drawn and / or provided by the Client or by a third party acting at the Client's direction. The Findings constitute no warranty of the sample's representativeness of any goods and strictly relate to the sample(s). The Company accepts no liability with regard to the origin or source from which the sample(s) is/are said to be extracted.

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	98DN-002-AMP-65-70 FEB4523-1 (wt %)	98DN-002-QRIF-158-163 FEB4523-2 (wt %)	98DN-002-MS-311-316 FEB4523-3 (wt %)	98DN-005-AMP-50-55 FEB4523-4 (wt %)	98DN-005-QR-183-187 FEB4523-5 (wt %)	98DN-005-MS-198-203 FEB4523-6 (wt %)	98DN-005-GN-206-211 FEB4523-7 (wt %)	98DN-007-AMP-81-86 FEB4523-8 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	7.6	93.9	51.6	3.8	96.6	41.9	37.8	4.7
Cristobalite	0.3	0.0	0.0	0.3	-	0.0	0.9	0.4
Tridymite	0.0	0.1	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	12.1	-	-	15.2	-	-	-	9.8
Potassium-feldspar	1.1	-	-	0.8	-	3.7	48.5	0.7
Amphibole	51.6	-	-	32.9	-	-	-	22.0
Pyroxene	0.9	-	-	1.4	-	-	-	1.1
Biotite	7.9	-	-	3.4	-	5.5	2.5	6.0
Muscovite	-	-	41.8	-	-	44.0	9.5	-
Hematite	1.5	6.1	0.0	1.1	0.2	-	-	0.8
Ilmenite	6.6	-	-	4.9	-	-	-	4.8
Magnetite	-	-	4.3	-	0.9	-	-	-
Chlorite	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	-	0.4	-	-	-	-	-
Amorphous Content	10.4	-	1.9	36.1	2.3	4.8	0.8	49.7
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

1 - Zero values indicate that the mineral was included in the refinement, but the calculated concentration is below a measurable value.
Dashes indicate that the mineral was not identifed by the analyst and not included in the refinement calculation for the sample.

2 - SiO_2 (alpha quartz) determination is made by semi-quantitative X-ray diffraction analysis using the standard addition procedure;
For the sample containing high amounts of alpha quartz (>80%), the determination is made by Rietveld refinement method directly.
Accuracy is +/- 10% relative to the reported value.
The detection limit is 0.1%.

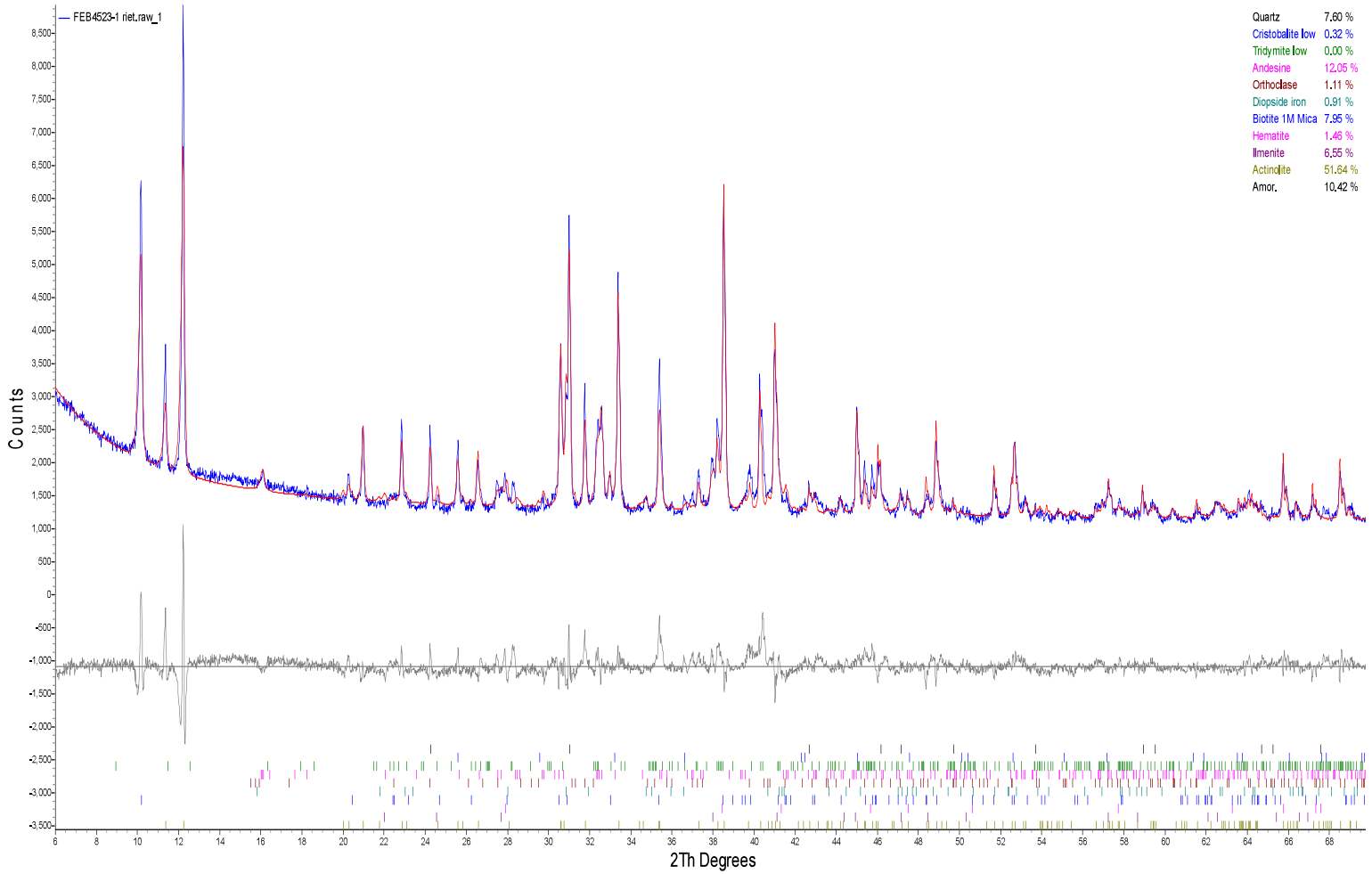
3 - The determination of SiO_2 (cristobalite and tridymite) is made by Rietveld quantitative X-ray diffraction analysis using the alpha quartz determined above a known value.

Mineral/Compound	Formula
Quartz	SiO_2
Cristobalite	SiO_2
Tridymite	SiO_2
Plagioclase	$(NaSi,CaAl)AlSi_2O_8$
Potassium-feldspar	$KAlSi_3O_8$
Amphibole	$(Na,K)Ca_2(Fe,Mg)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$
Pyroxene	$(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$
Biotite	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Muscovite	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Hematite	Fe_2O_3
Ilmenite	$FeTiO_3$
Magnetite	Fe_3O_4
Chlorite	$(Fe,(Mg,Mn)_5,Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$
Calcite	$CaCO_3$
Ankerite	$CaFe(CO_3)_2$

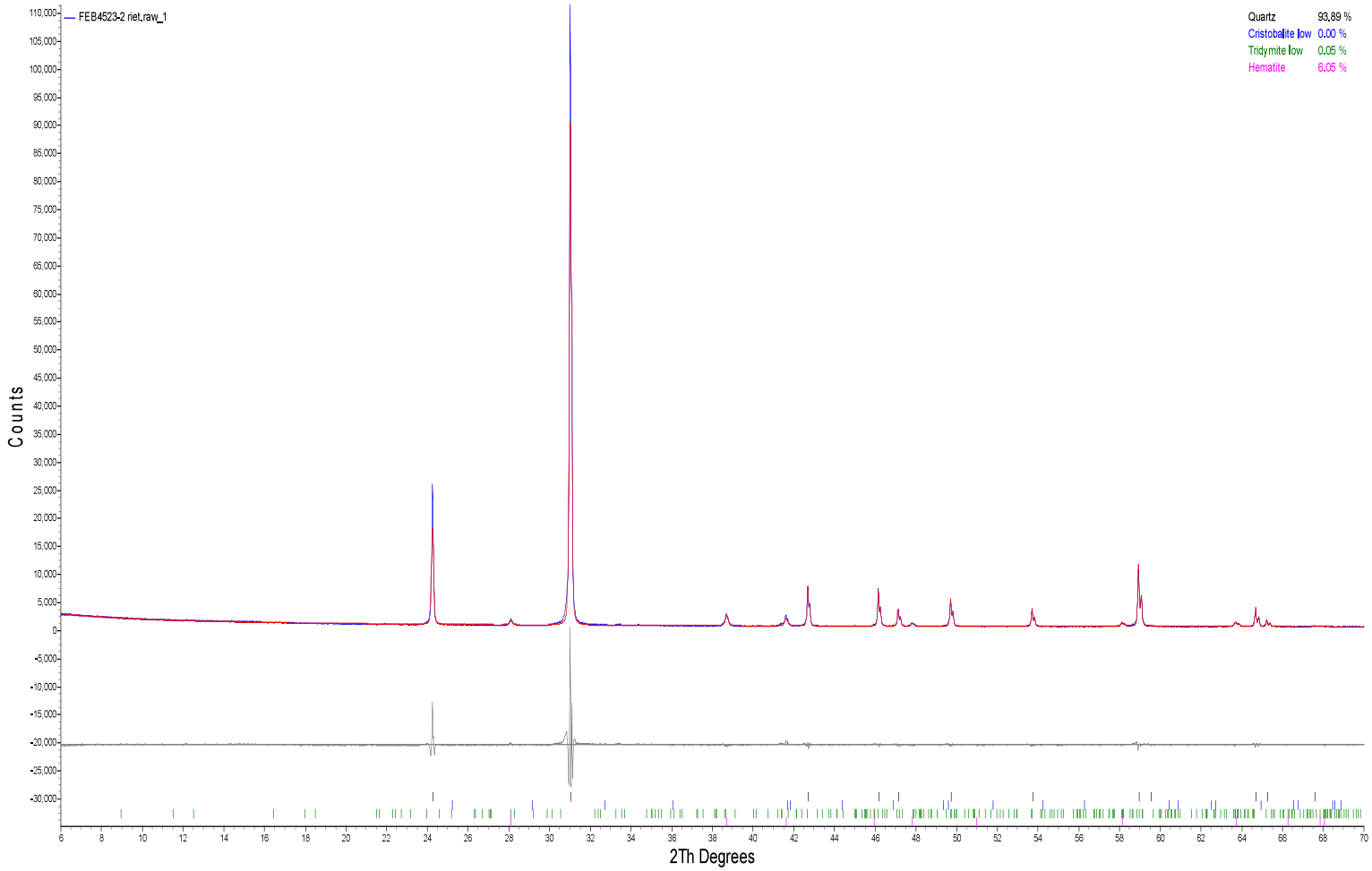
Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	98DN-007-QRIF-158-163 FEB4523-9 (wt %)	98DN-007-AMP-238-244 FEB4523-10 (wt %)	98DN-007-MS-307-312 FEB4523-11 (wt %)	98DN-015-MS-3-8 FEB4523-12 (wt %)	98DN-015-AMP-55-60 FEB4523-13 (wt %)	98DN-015-QRIF-126-139 FEB4523-14 (wt %)	98DN-015-MS-153-158 FEB4523-15 (wt %)	98DN-015-QRIF-275-280 FEB4523-16 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	83.7	4.6	9.4	29.3	2.1	83.6	31.0	79.9
Cristobalite	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Other Minerals								
Plagioclase	-	-	15.5	41.9	22.8	-	-	-
Potassium-feldspar	-	-	0.8	3.7	-	-	21.9	-
Amphibole	-	59.9	13.1	-	39.6	3.5	-	4.2
Pyroxene	-	-	2.4	2.6	-	-	-	-
Biotite	-	-	9.5	8.1	1.8	-	4.4	-
Muscovite	-	-	-	0.9	1.3	-	19.4	-
Hematite	2.4	0.5	-	-	0.5	3.6	-	4.3
Ilmenite	-	1.2	-	-	3.5	-	-	-
Magnetite	12.5	4.1	-	0.0	0.5	7.7	-	1.1
Chlorite	-	-	6.0	-	-	-	-	0.2
Calcite	1.4	-	-	-	-	1.6	-	3.1
Ankerite	-	-	-	-	0.3	-	-	7.0
Amorphous Content	-	29.7	43.0	13.5	27.7	-	23.3	-
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

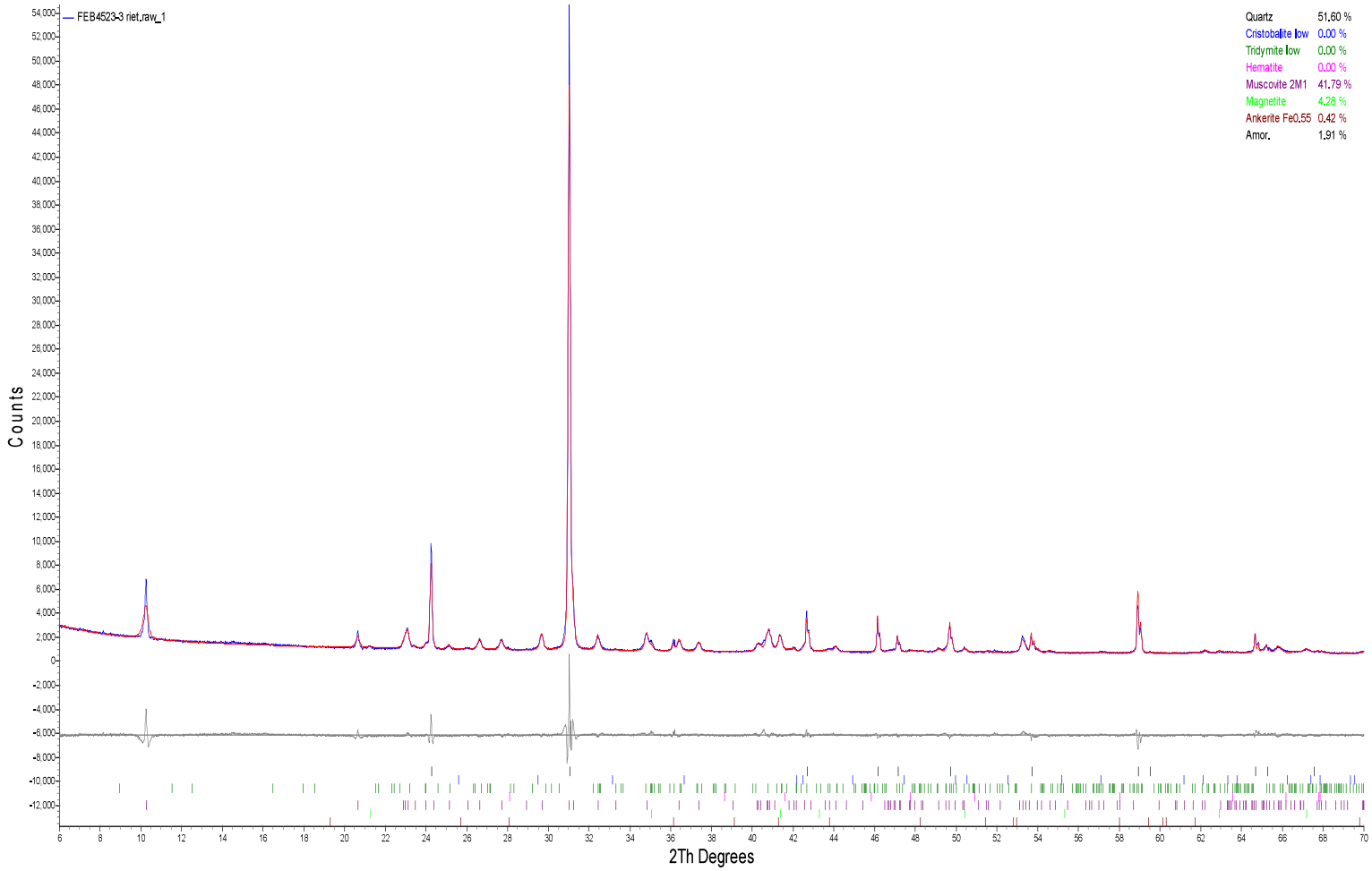
98DN-002-AMP-65-70



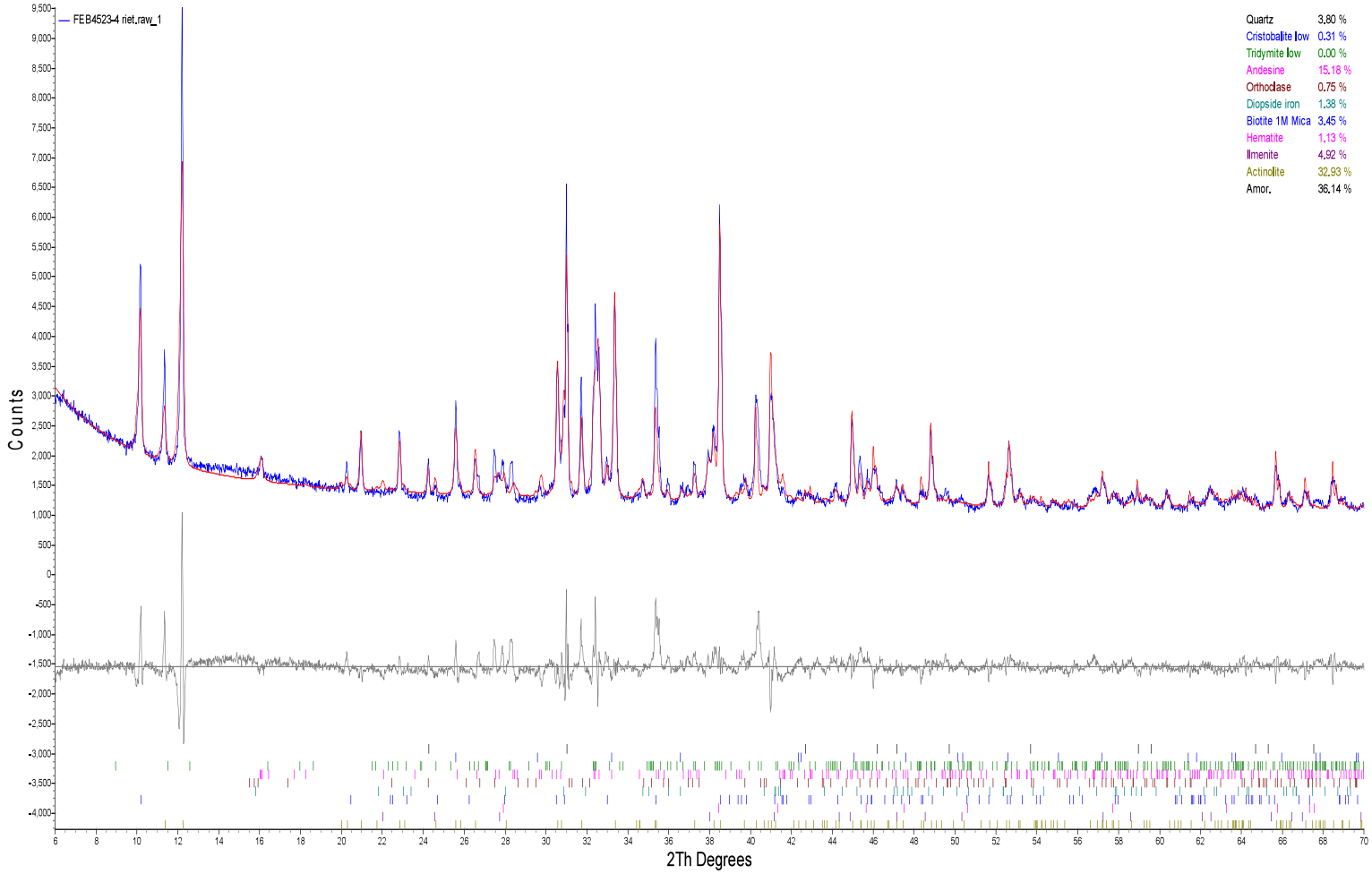
98DN-002-QRIF-158-163



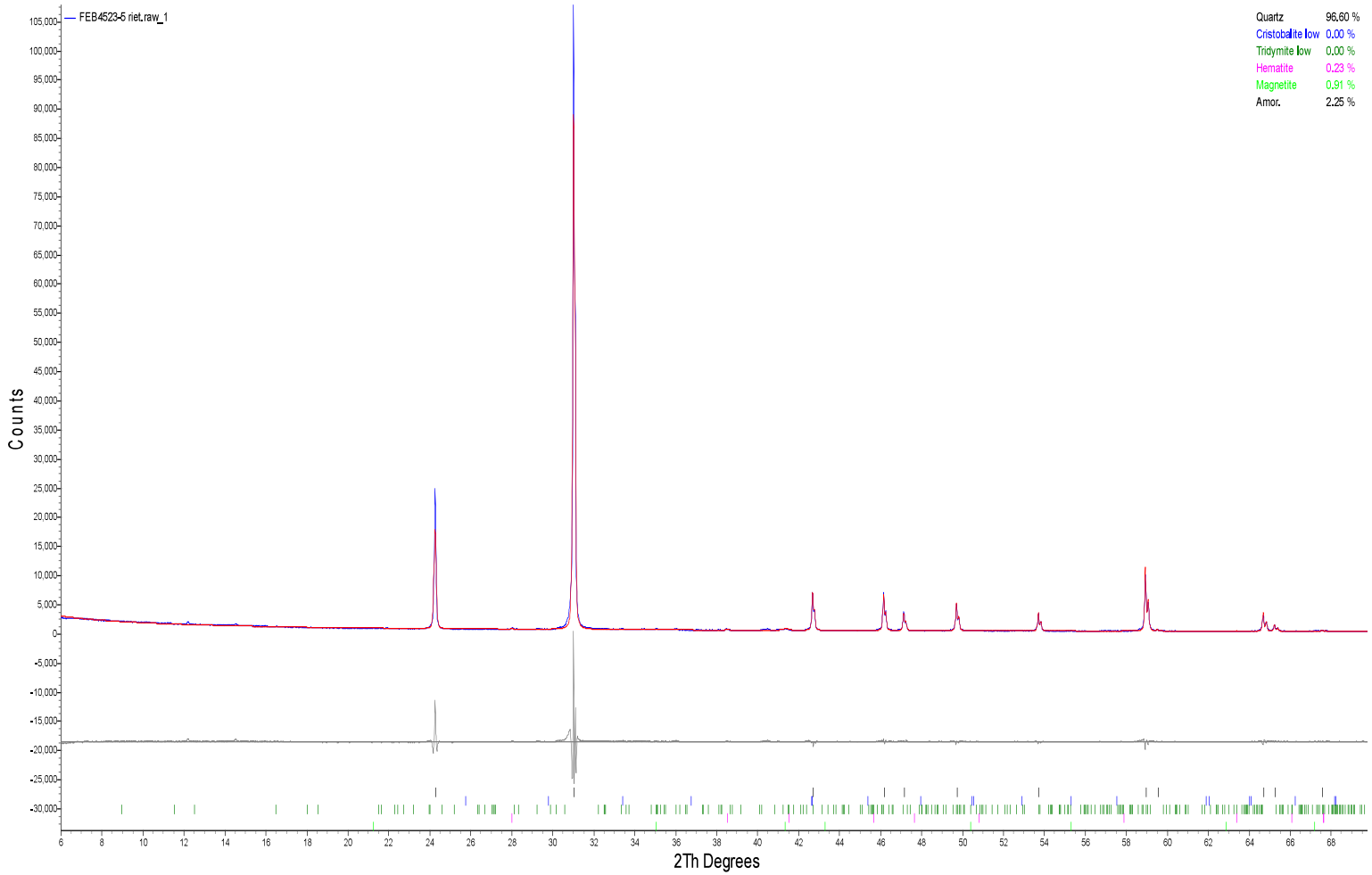
98DN-002-MS-311-316



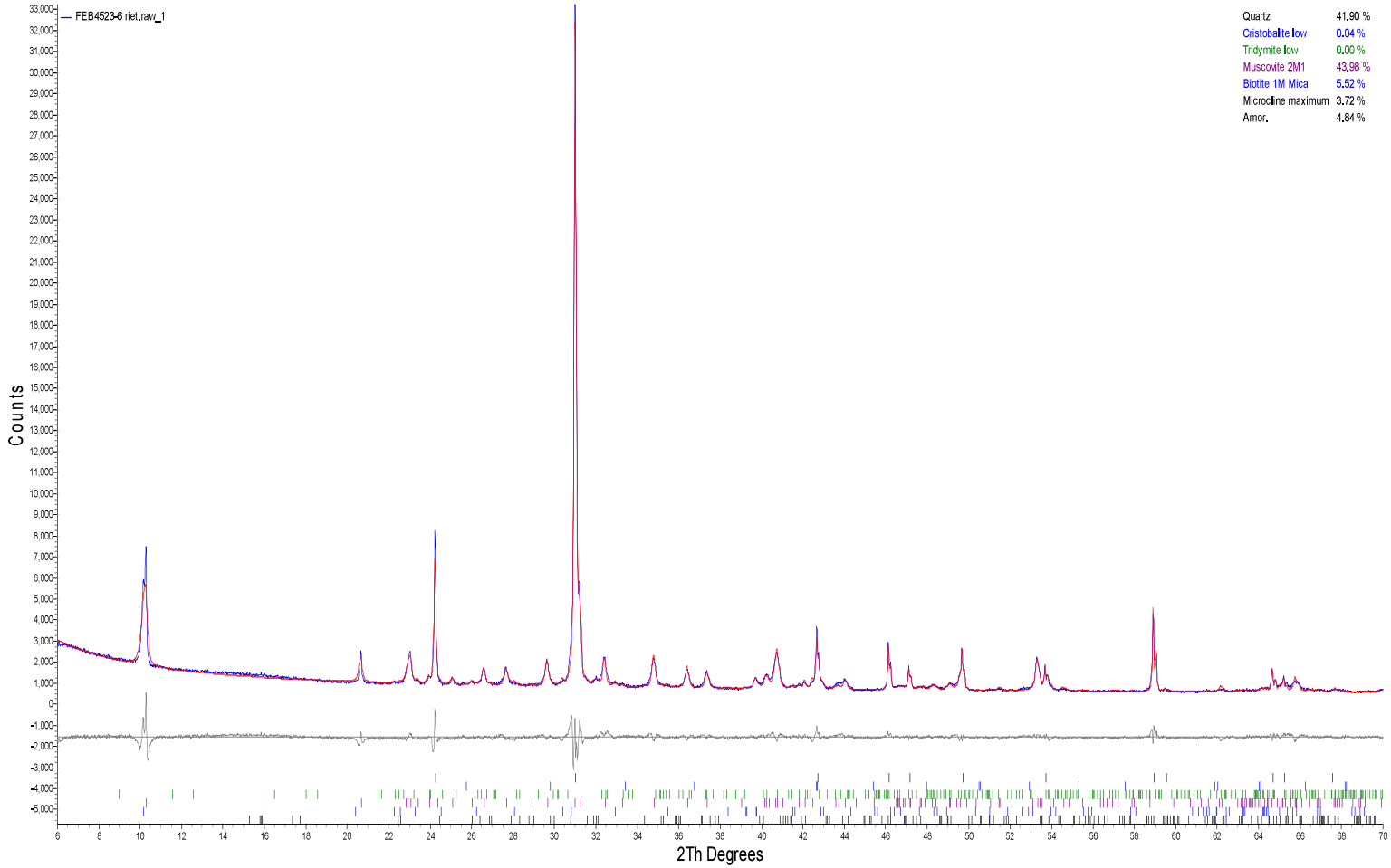
98DN-005-AMP-50-55



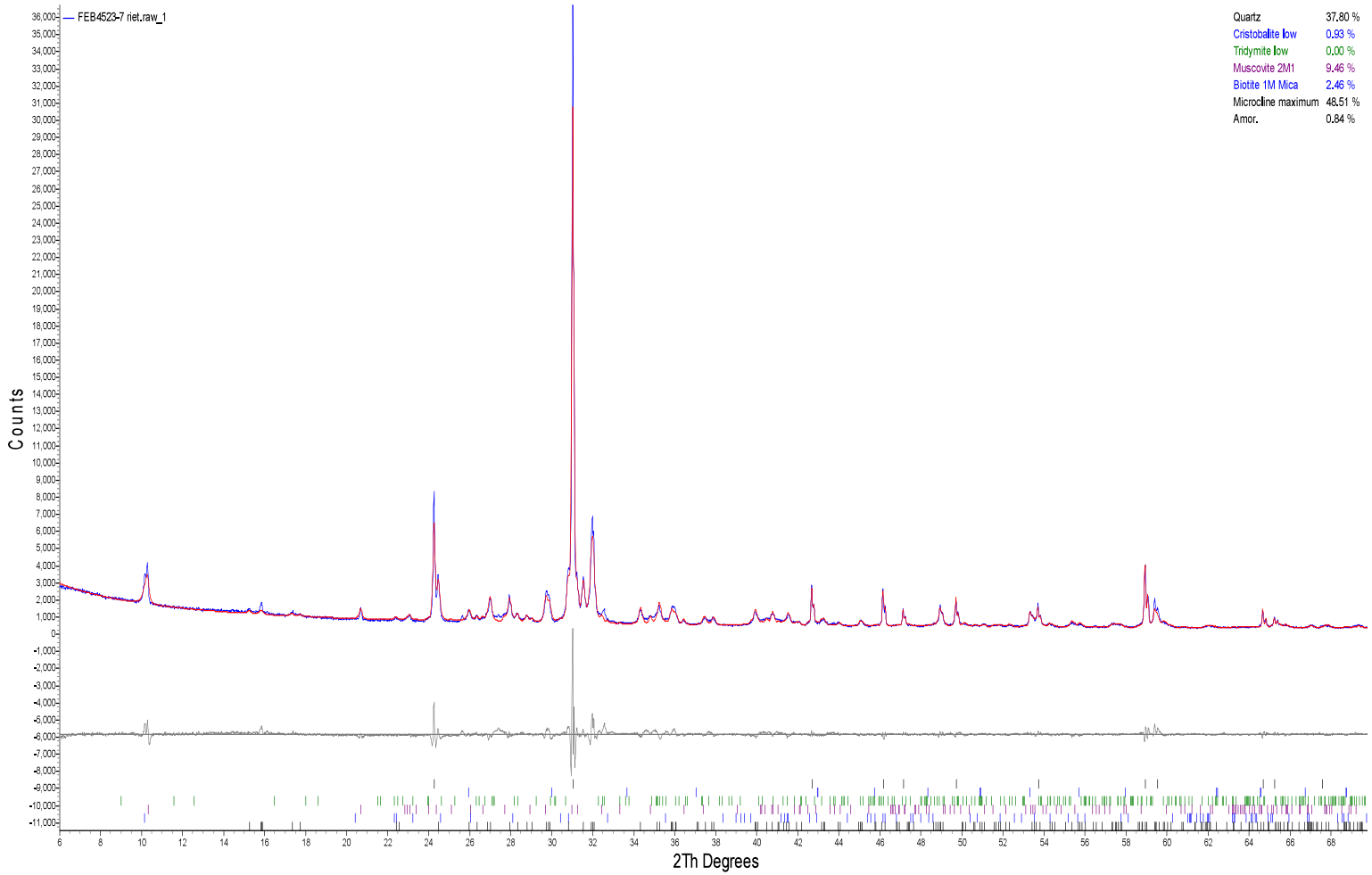
98DN-005-QR-183-187



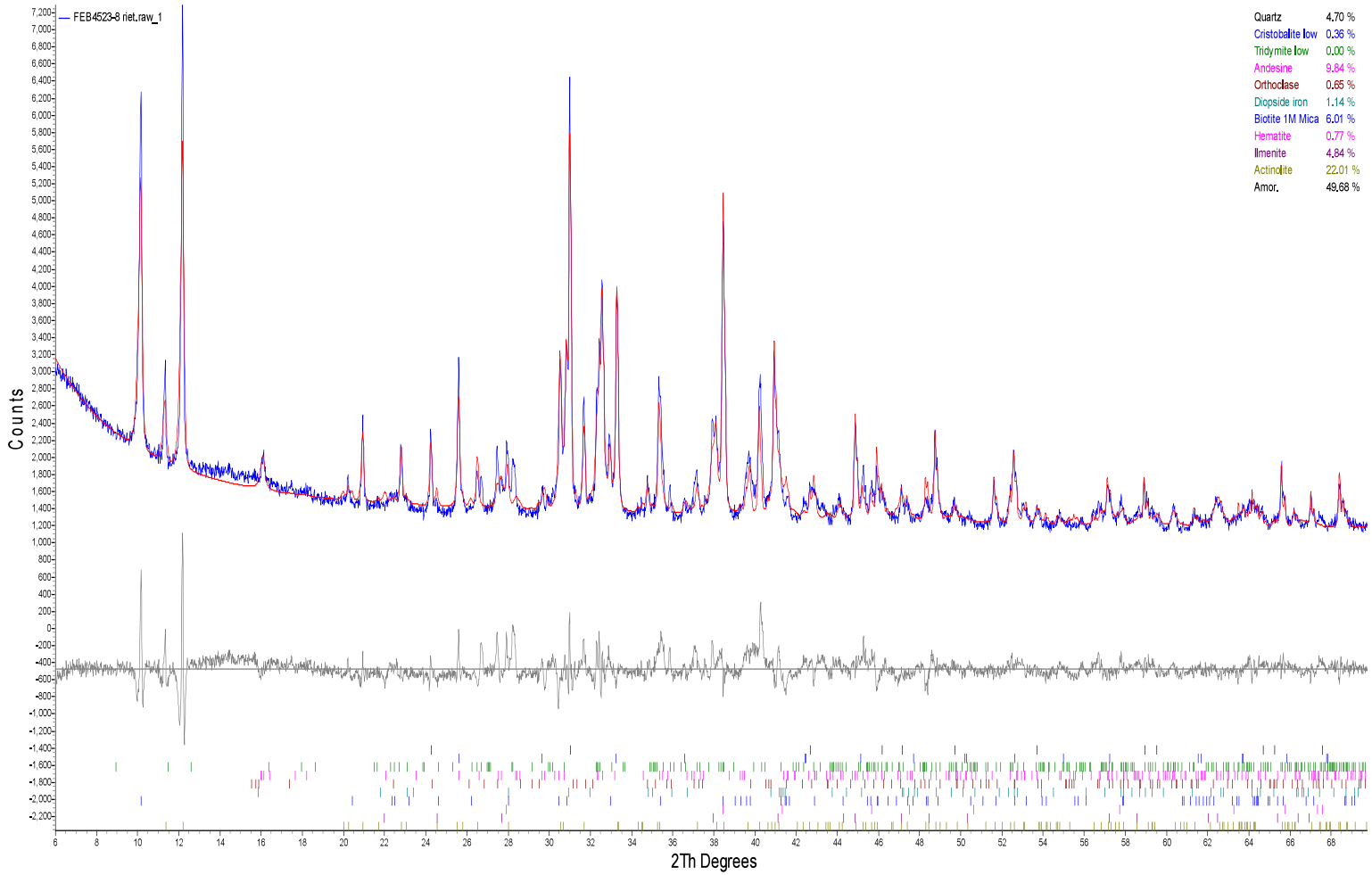
98DN-005-MS-198-203



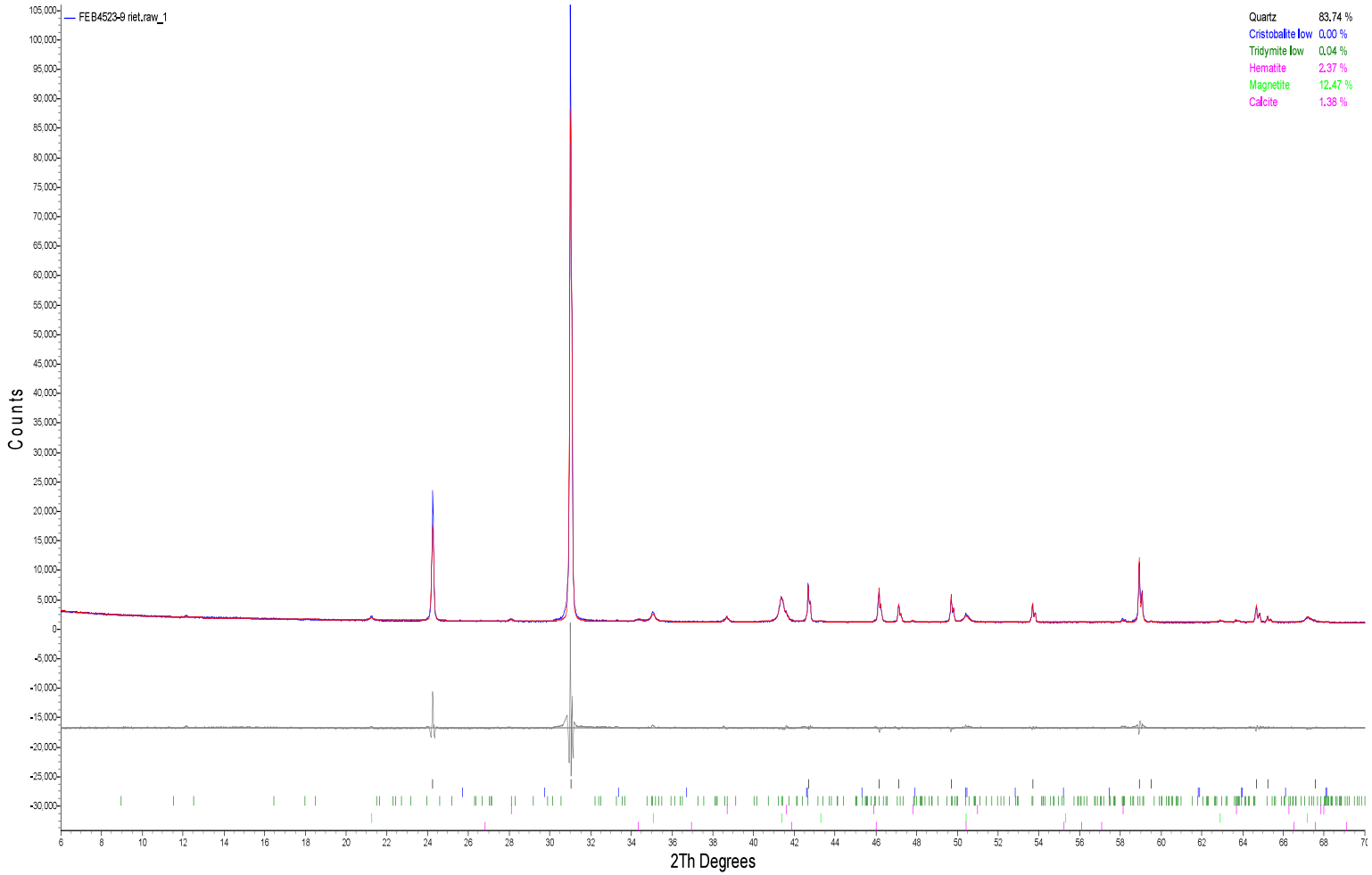
98DN-005-GN-206-211



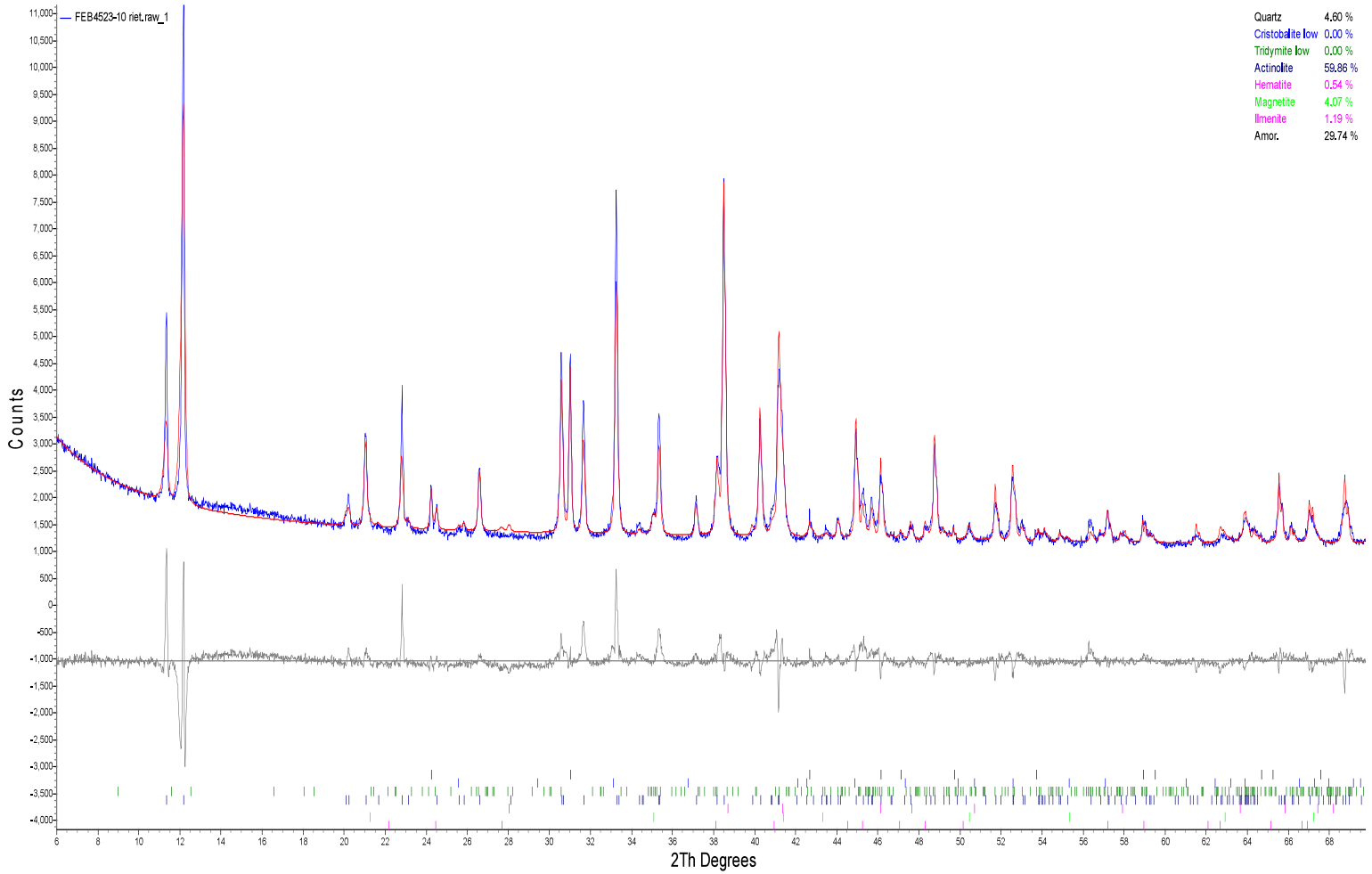
98DN-007-AMP-81-86



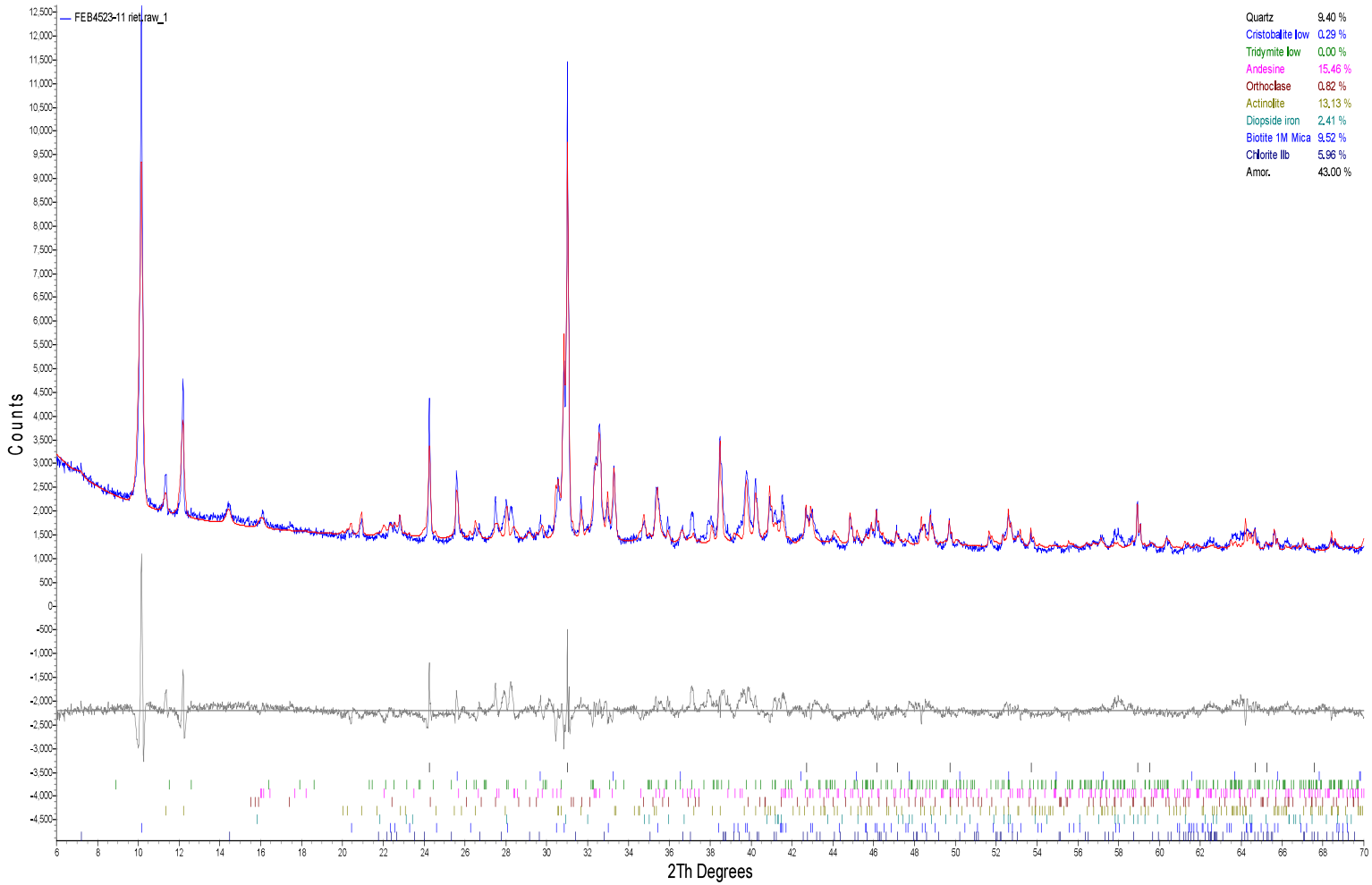
98DN-007-QRIF-158-163



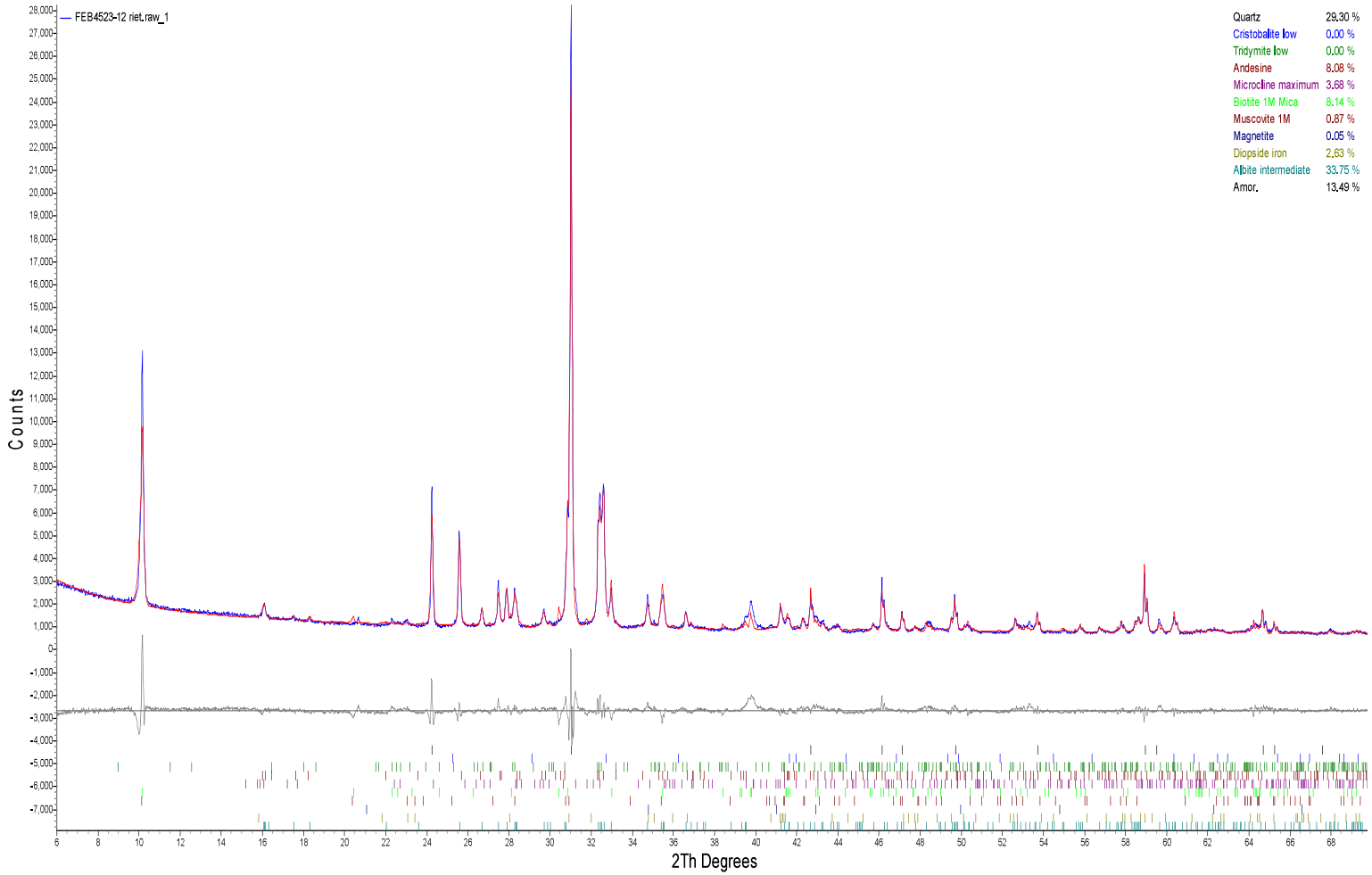
98DN-007-AMP-238-244



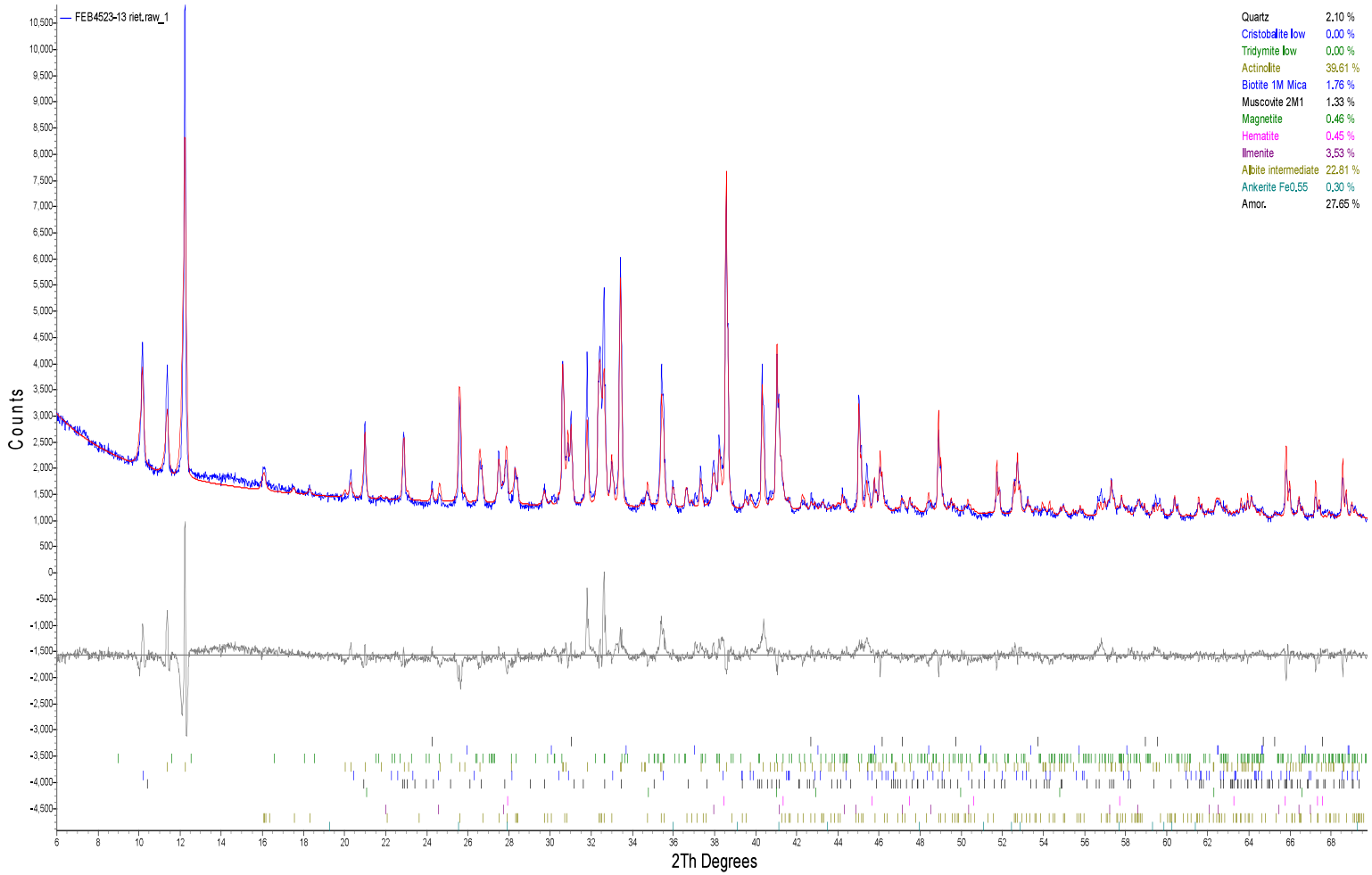
98DN-007-MS-307-312



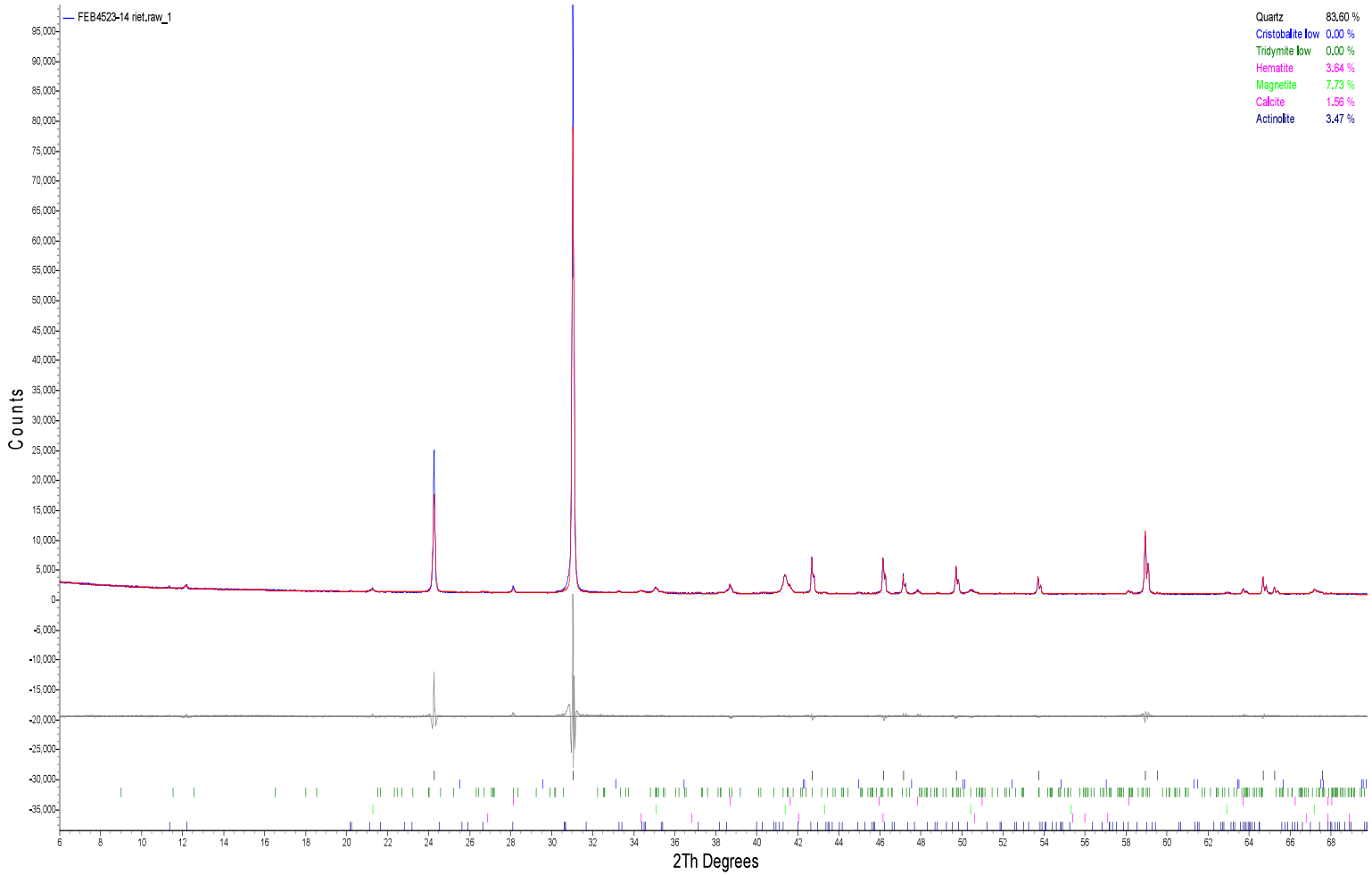
98DN-015-MS-3-8



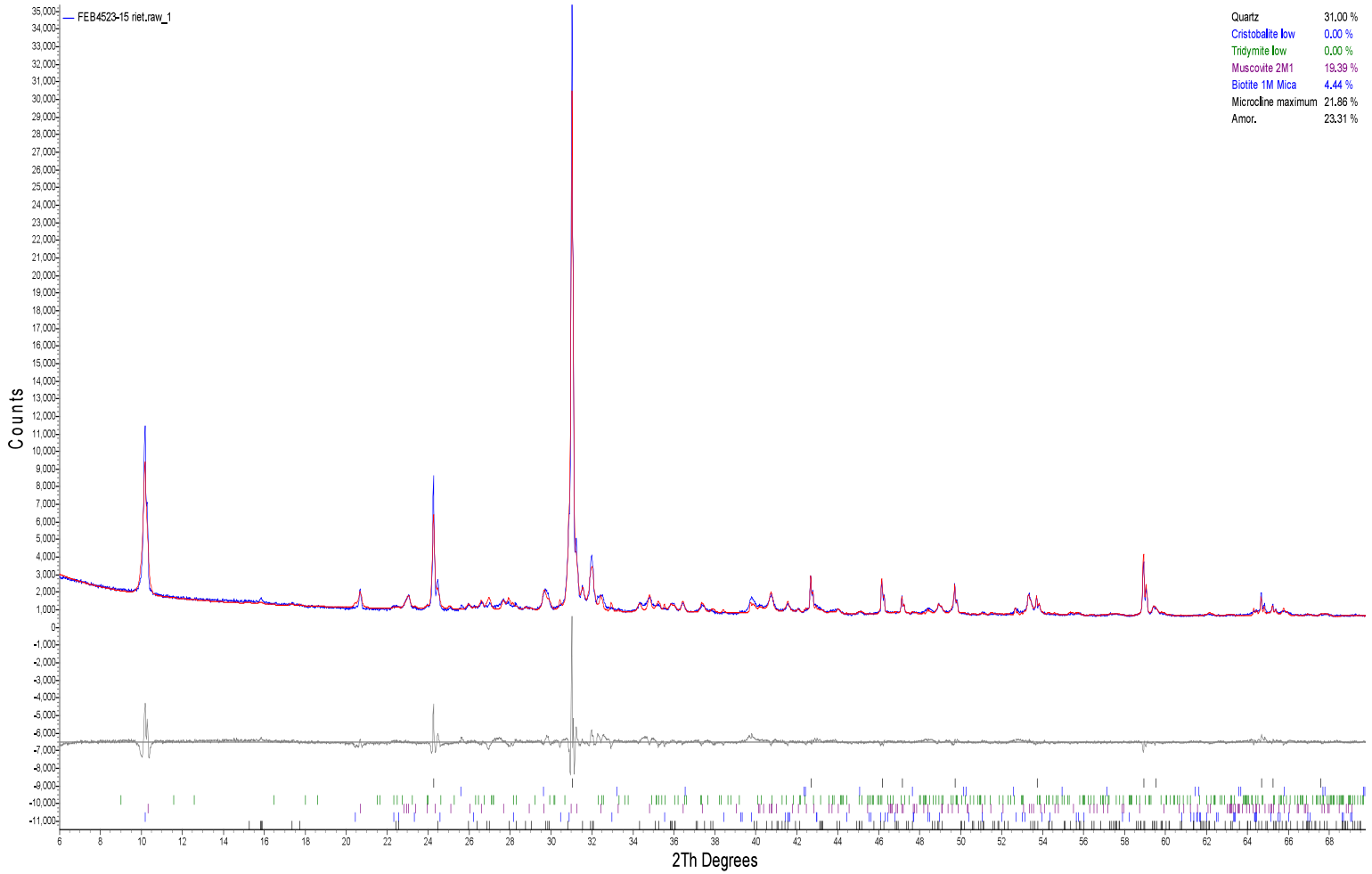
98DN-015-AMP-55-60



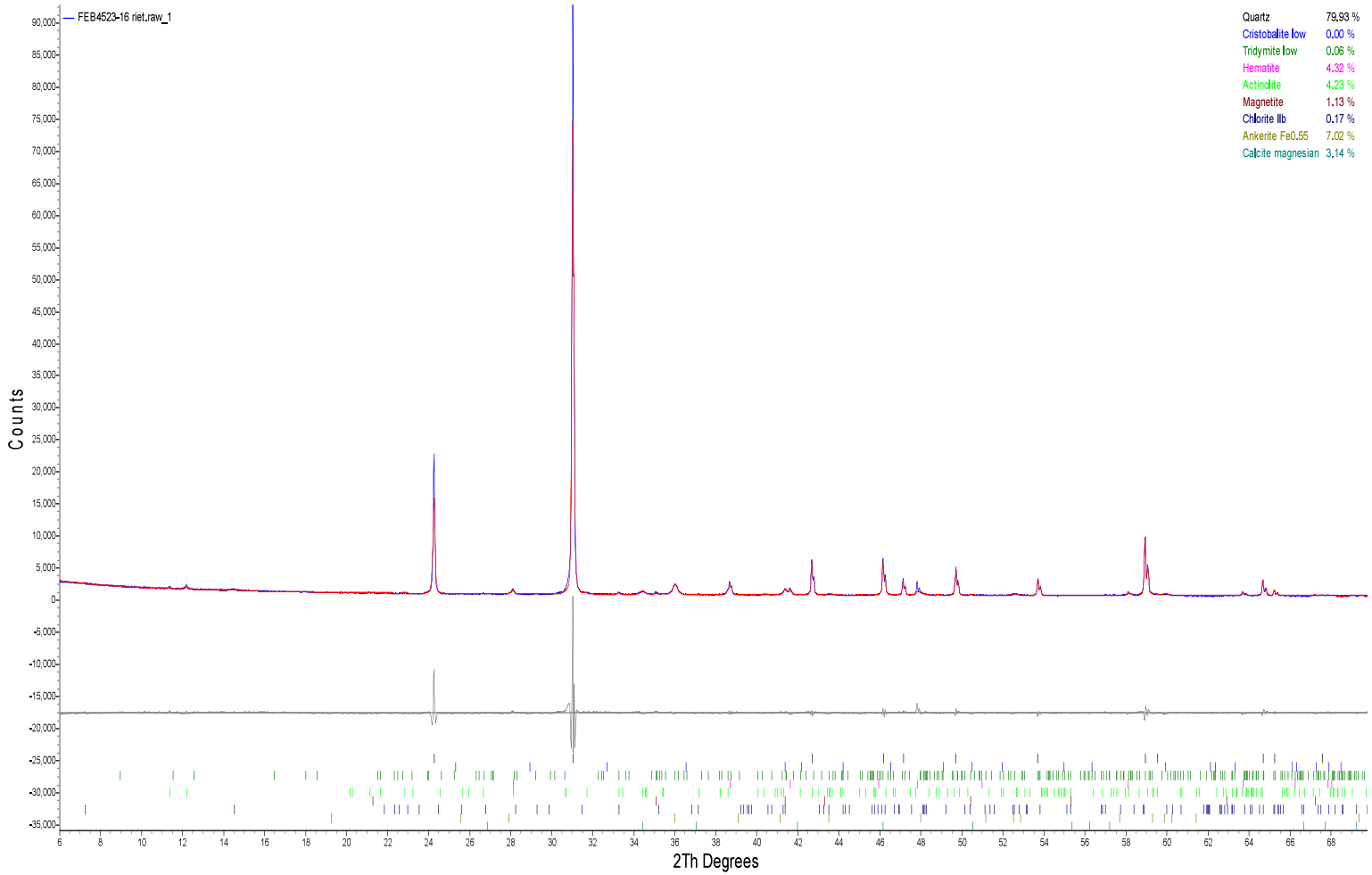
98DN-015-QRIF-126-139



98DN-015-MS-153-158



98DN-015-QRIF-275-280



Quantitative X-Ray Diffraction by Rietveld Refinement

Report Prepared for:	*Environmental Services*
Project Number/ LIMS No.	*Custom XRD/MI4523-FEB22*
Sample Receipt:	*February 17, 2022*
Sample Analysis:	*March 31, 2022*
Reporting Date:	*May 2, 2022*

Instrument:	BRUKER AXS D8 Advance Diffractometer
Test Conditions:	Co radiation, 35 kV, 40 mA Regular Scanning: Step: 0.02°, Step time: 1s, 2θ range: 6-70°
Interpretations :	PDF2/PDF4 powder diffraction databases issued by the International Center for Diffraction Data (ICDD). DiffracPlus Eva and Topas software.
Detection Limit :	0.5-2%. Strongly dependent on crystallinity.

Contents:

1) Method Summary
2) Quantitative XRD Results
3) XRD Pattern(s)

Zhihai (Adrian) Zhang, Ph.D.
Junior Mineralogist

Huyun Zhou, Ph.D., P.Geo.
Senior Mineralogist

ACCREDITATION: SGS Natural Resources Lakefield is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025 for specific tests as listed on our scope of accreditation, including geochemical, mineralogical and trade mineral tests. To view a list of the accredited methods, please visit the following website and search SGS Canada Inc. - Minerals: https://www.scc.ca/en/search/palcan.

Method Summary

The Rietveld Method of Mineral Identification by XRD (ME-LR-MIN-MET-MN-D05) method used by SGS Natural Resources is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025.

Mineral Identification and Interpretation:

Mineral identification and interpretation involves matching the diffraction pattern of an unknown material to patterns of single-phase reference materials. The reference patterns are compiled by the Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Center for Diffraction Data (JCPDS-ICDD) database and released on software as Powder Diffraction Files (PDF).

Interpretations do not reflect the presence of non-crystalline and/or amorphous compounds, except when internal standards have been added by request. Mineral proportions may be strongly influenced by crystallinity, crystal structure and preferred orientations. Mineral or compound identification and quantitative analysis results should be accompanied by supporting chemical assay data or other additional tests.

Quantitative Rietveld Analysis:

Quantitative Rietveld Analysis is performed by using Topas 4.2 (Bruker AXS), a graphics based profile analysis program built around a non-linear least squares fitting system, to determine the amount of different phases present in a multicomponent sample. Whole pattern analyses are predicated by the fact that the X-ray diffraction pattern is a total sum of both instrumental and specimen factors. Unlike other peak intensity-based methods, the Rietveld method uses a least squares approach to refine a theoretical line profile until it matches the obtained experimental patterns.

Rietveld refinement is completed with a set of minerals specifically identified for the sample. Zero values indicate that the mineral was included in the refinement calculations, but the calculated concentration was less than 0.05wt%. Minerals not identified by the analyst are not included in refinement calculations for specific samples and are indicated with a dash.

DISCLAIMER: This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

WARNING: The sample(s) to which the findings recorded herein (the "Findings") relate was(were) drawn and / or provided by the Client or by a third party acting at the Client's direction. The Findings constitute no warranty of the sample's representativeness of any goods and strictly relate to the sample(s). The Company accepts no liability with regard to the origin or source from which the sample(s) is/are said to be extracted.

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	98DN-026-QR-270-275	98DN-031-QRIF-76-81	98DN-031-QR-215-220	98DN-031-MS-230-235	98DN-031-QRMS-290-295	98DN-038-AMP-30-35	98DN-038-AMP-70-75	98DN-038-AMP-110-115
	FEB4523-17 (wt %)	FEB4523-18 (wt %)	FEB4523-19 (wt %)	FEB4523-20 (wt %)	FEB4523-21 (wt %)	FEB4523-22 (wt %)	FEB4523-23 (wt %)	FEB4523-24 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	87.4	80.2	97.4	47.8	35.4	4.4	5.1	3.5
Cristobalite	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.9	0.6
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	-	-	-	-	12.5	23.3	23.6	11.5
Potassium-feldspar	-	-	-	-	33.2	1.2	1.3	0.4
Amphibole	5.5	8.7	-	-	-	54.9	45.8	39.4
Pyroxene	-	-	-	-	-	2.5	3.5	0.8
Talc	2.5	0.0	-	-	-	-	-	-
Biotite	-	-	-	-	3.3	5.8	5.6	2.7
Muscovite	-	-	2.5	39.7	14.2	-	-	-
Hematite	-	-	-	-	-	1.9	2.0	0.5
Magnetite	3.1	8.8	-	-	-	-	0.0	0.2
Ilmenite	-	-	-	-	-	4.5	4.5	1.7
Chlorite	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	1.5	1.8	0.1	-	1.0	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	3.2
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	0.9
Epidote	-	-	-	-	-	-	-	2.1
Amorphous Content	0.1	0.5	0.0	12.4	0.5	1.5	7.7	32.6
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

1 - Zero values indicate that the mineral was included in the refinement, but the calculated concentration is below a measurable value. Dashes indicate that the mineral was not identifed by the analyst and not included in the refinement calculation for the sample.

2 - Si02 (alpha quartz) determination is made by semi-quantitative X-ray diffraction analysis using the standard addition procedure; for the sample contains high amounts of alpha quartz (>80%), the determination is made by Rietveld refinement method directly. Accuracy is +/- 10% relative to the reported value. The detection limit is 0.1%.

3 - SiO2 (cristobalite and tridymite), the determination is made by Rietveld quantitative X-ray diffraction analysis using the alpha quartz determined above as known value.

4 - The weight percent quantities indicated have been normalized to a sum of 100%.

Mineral/Compound	Formula
Quartz	SiO_2
Cristobalite	SiO_2
Tridymite	SiO_2
Plagioclase	$(NaSi,CaAl)AlSi_2O_8$
Potassium-feldspar	$KAlSi_3O_8$
Amphibole	$(Na,K)Ca_2(Fe,Mg)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$
Pyroxene	$(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$
Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Biotite	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Muscovite	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Hematite	Fe_2O_3
Ilmenite	$FeTiO_3$
Magnetite	Fe_3O_4
Chlorite	$(Fe,(Mg,Mn)_5,Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$
Calcite	$CaCO_3$
Scapolite	$(Na,Ca)_4[Al_3Si_9O_{24}]Cl$
Sodalite	$Na_8(AlSiO_4)_6Cl_2$
Epidote	$Ca_2(Al,Fe)Al_2O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	98DN-038-QRIF-175-180 FEB4523-25 (wt %)	98DN-045-AMP-142-147 FEB4523-26 (wt %)	98DN-045-MS-183-188 FEB4523-27 (wt %)	98DN-048-AMP-50-55 FEB4523-28 (wt %)	98DN-048-AMP-140-145 FEB4523-29 (wt %)	98DN-048-QRIF-230-236 FEB4523-30 (wt %)	98DN-049-AMP-20-25 FEB4523-31 (wt %)	98DN-049-AMP-70-75 FEB4523-32 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	87.0	11.2	35.5	6.9	5.6	65.0	1.9	4.7
Cristobalite	0.0	0.5	0.5	1.7	0.8	0.0	0.7	1.2
Tridymite	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	-	24.0	21.2	17.3	7.9	-	13.7	17.6
Potassium-feldspar	-	1.5	23.9	1.9	3.0	-	1.0	2.8
Amphibole	1.6	30.7	2.1	54.1	44.2	16.9	61.2	54.8
Pyroxene	-	1.8	3.1	1.6	1.2	16.8	1.5	1.8
Talc	-	-	-	-	-	0.0	-	-
Biotite	-	11.6	4.0	5.3	7.3	-	2.8	7.1
Muscovite	-	-	9.3	-	-	-	-	-
Hematite	-	3.0	-	2.8	1.8	0.3	1.4	2.7
Magnetite	9.9	0.2	-	0.2	0.1	0.1	0.4	0.6
Ilmenite	-	5.8	-	5.7	3.6	0.0	1.6	3.3
Chlorite	-	7.5	-	-	-	-	-	-
Calcite	1.4	-	0.3	-	-	0.3	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	0.7	-	1.2	1.7
Epidote	-	-	-	-	-	-	3.3	-
Amorphous Content	0.0	2.0	0.3	2.6	23.7	0.4	9.3	1.5
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

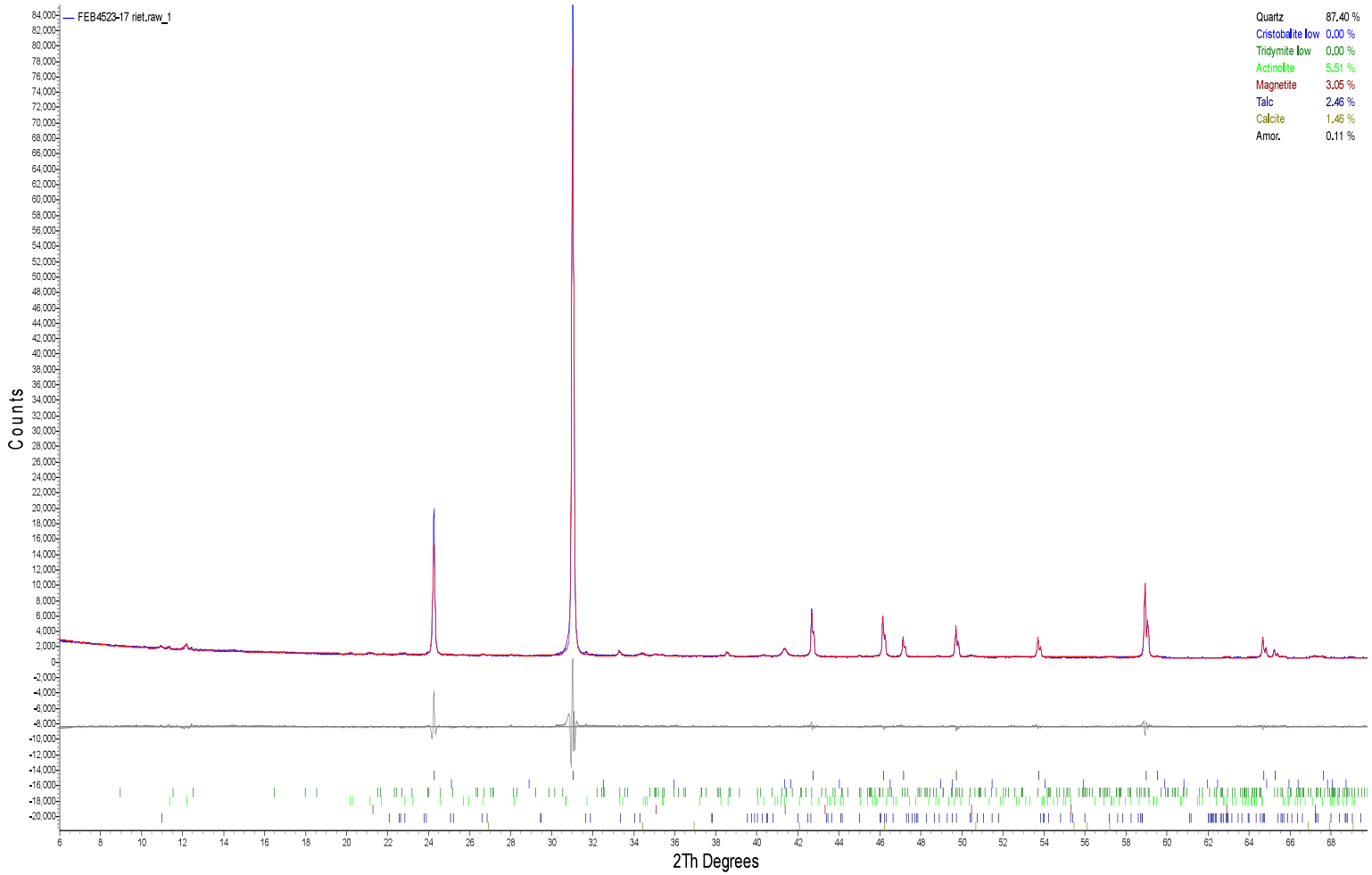
Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	98DN-049-AMP-120-125 FEB4523-33 (wt %)	98DN-049-QRIF-204-209 FEB4523-34 (wt %)	98DN-049-QRIF-318-323 FEB4523-35 (wt %)	98DN-049-QR-325-330 FEB4523-36 (wt %)	98DN-053-AMP-50-55 FEB4523-37 (wt %)	98DN-053-AMP-100-105 FEB4523-38 (wt %)	98DN-053-AMP-150-155 FEB4523-39 (wt %)	98DN-053-AMP-200-205 FEB4523-40 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	3.8	83.8	89.8	95.9	2.2	5.0	0.7	4.2
Cristobalite	0.5	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.2	0.5
Tridymite	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	11.6	-	-	-	19.3	22.1	9.2	14.3
Potassium-feldspar	1.2	-	-	-	1.4	4.2	2.4	2.7
Amphibole	33.0	2.2	5.0	2.5	36.8	40.8	54.4	40.0
Pyroxene	0.6	-	-	-	2.4	2.0	2.7	2.1
Talc	-	-	-	-	-	-	-	-
Biotite	3.7	-	-	-	2.4	4.2	5.4	3.1
Muscovite	-	-	-	-	-	-	-	-
Hematite	2.4	2.7	0.2	-	2.4	0.2	-	-
Magnetite	0.8	2.8	3.2	1.4	0.6	0.4	0.5	0.0
Ilmenite	2.1	-	-	-	3.7	2.1	4.7	5.5
Chlorite	-	-	-	-	-	7.7	-	4.1
Calcite	-	1.6	1.8	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	1.2	-	-	-	1.8	1.4	-	-
Epidote	4.0	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	35.1	6.7	0.0	0.1	25.9	10.0	19.7	23.6
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

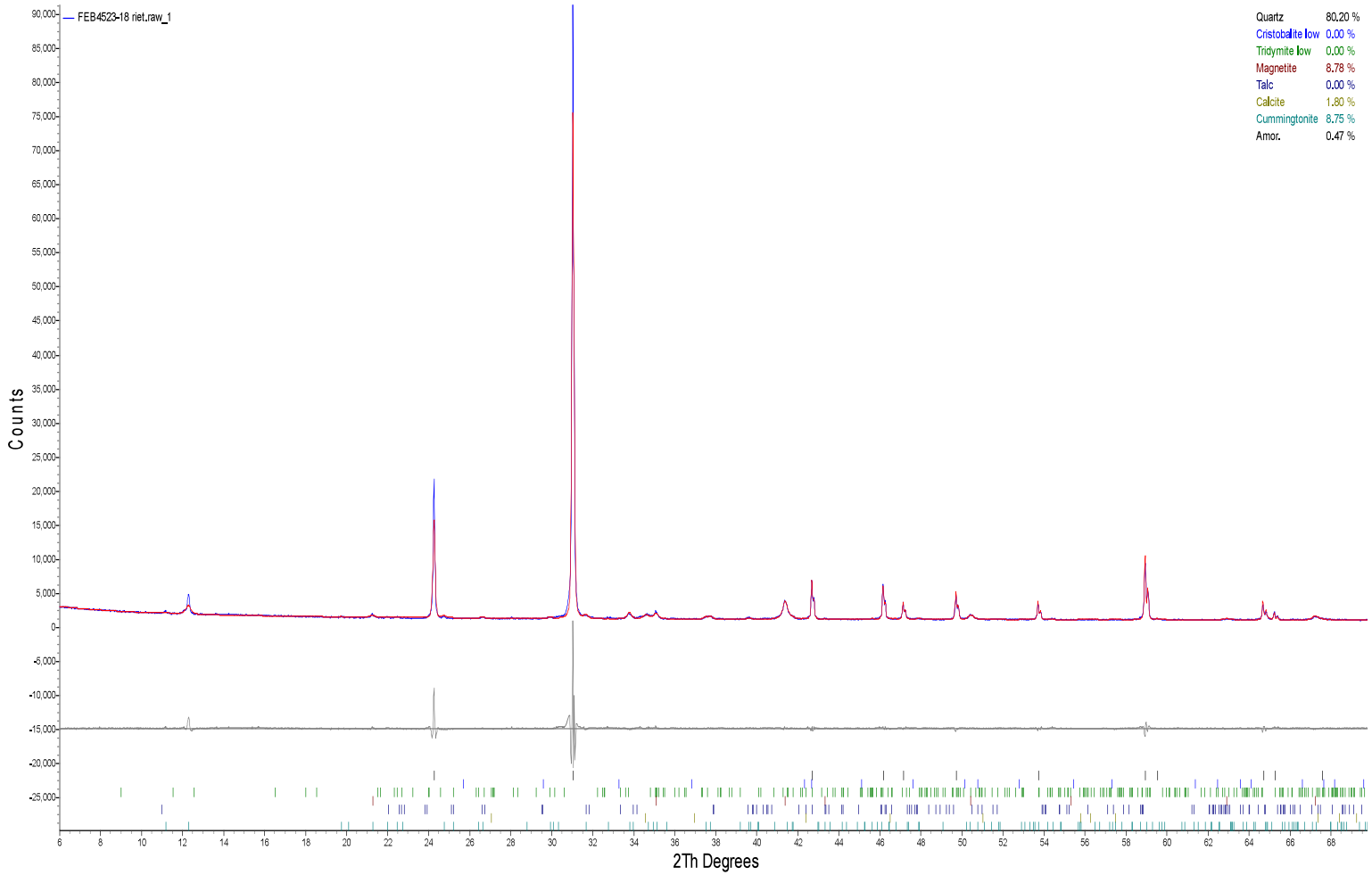
Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	98DN-053-AMP-245-250 FEB4523-41 (wt %)	98DN-065A-QR-150-155 FEB4523-42 (wt %)	98DN-065A-WSIF-165-170 FEB4523-43 (wt %)	98DN-065A-QR-212-217 FEB4523-44 (wt %)	98DN-068-AMP-20-25 FEB4523-45 (wt %)	98DN-069-AMP-10-15 FEB4523-46 (wt %)	98DN-069-AMP-55-60 FEB4523-47 (wt %)	98DN-069-QR-185-190 FEB4523-48 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	0.6	92.2	75.6	75.6	5.3	3.5	3.9	94.4
Cristobalite	0.0	0.3	0.1	0.0	0.9	1.5	0.8	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Other Minerals								
Plagioclase	3.6	-	-	-	15.9	17.2	14.1	-
Potassium-feldspar	2.1	-	-	-	3.2	1.3	1.3	-
Amphibole	42.5	-	14.3	11.8	44.5	38.6	43.6	3.3
Pyroxene	1.6	-	-	-	2.0	2.5	1.7	-
Talc	-	-	-	-	-	-	-	-
Biotite	5.2	-	-	-	4.3	3.2	5.1	-
Muscovite	-	-	-	-	-	-	-	-
Hematite	-	4.0	0.2	0.1	-	-	-	0.0
Magnetite	0.5	1.0	6.3	2.6	0.2	0.0	0.5	0.1
Ilmenite	2.1	-	-	-	4.8	3.2	4.1	-
Chlorite	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	2.1	2.6	2.9	-	-	-	0.8
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	1.1	0.9	-
Epidote	3.1	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	38.7	0.3	0.9	7.0	18.9	27.8	24.2	1.4
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

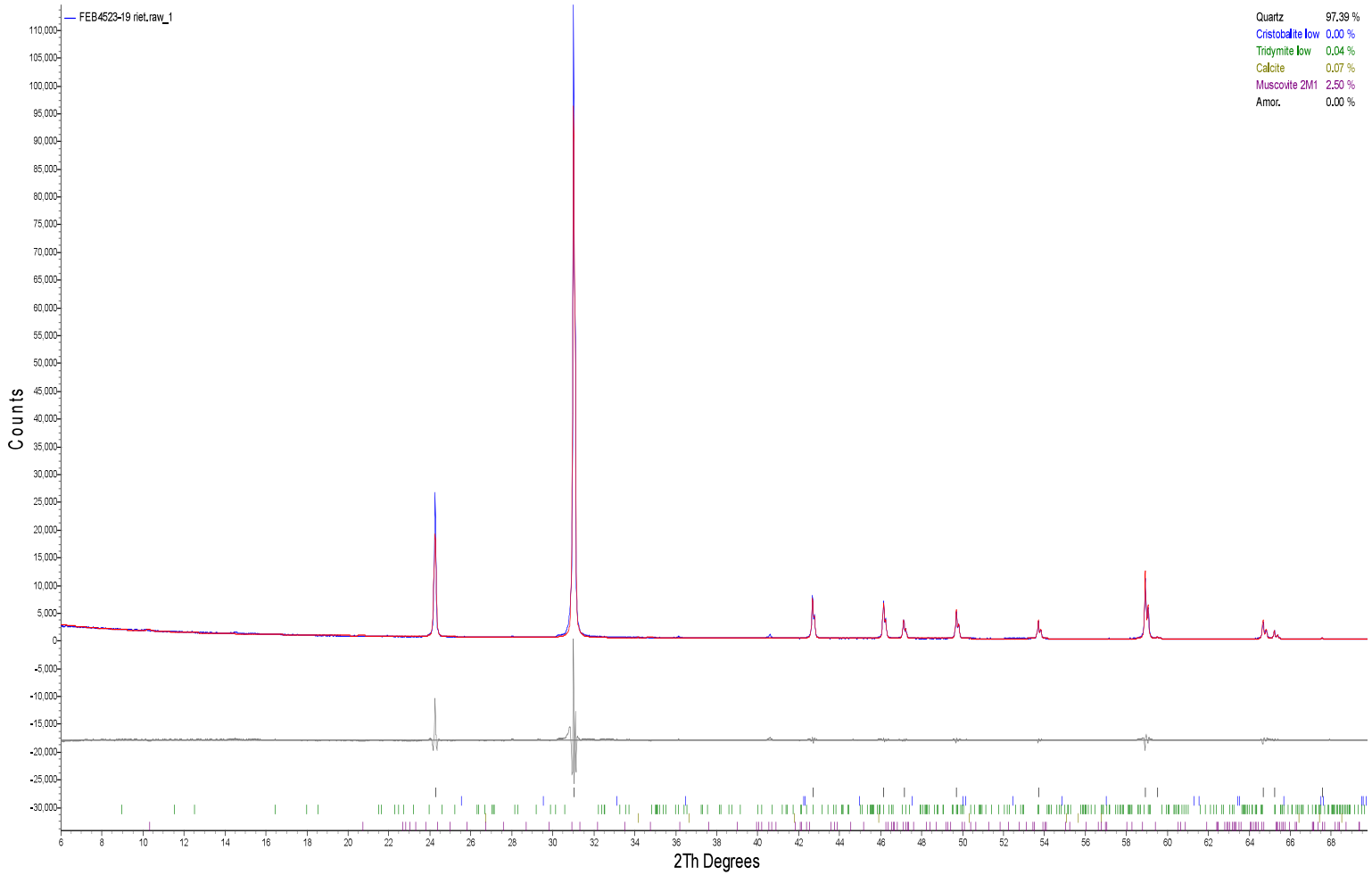
98DN-026-QR-270-275



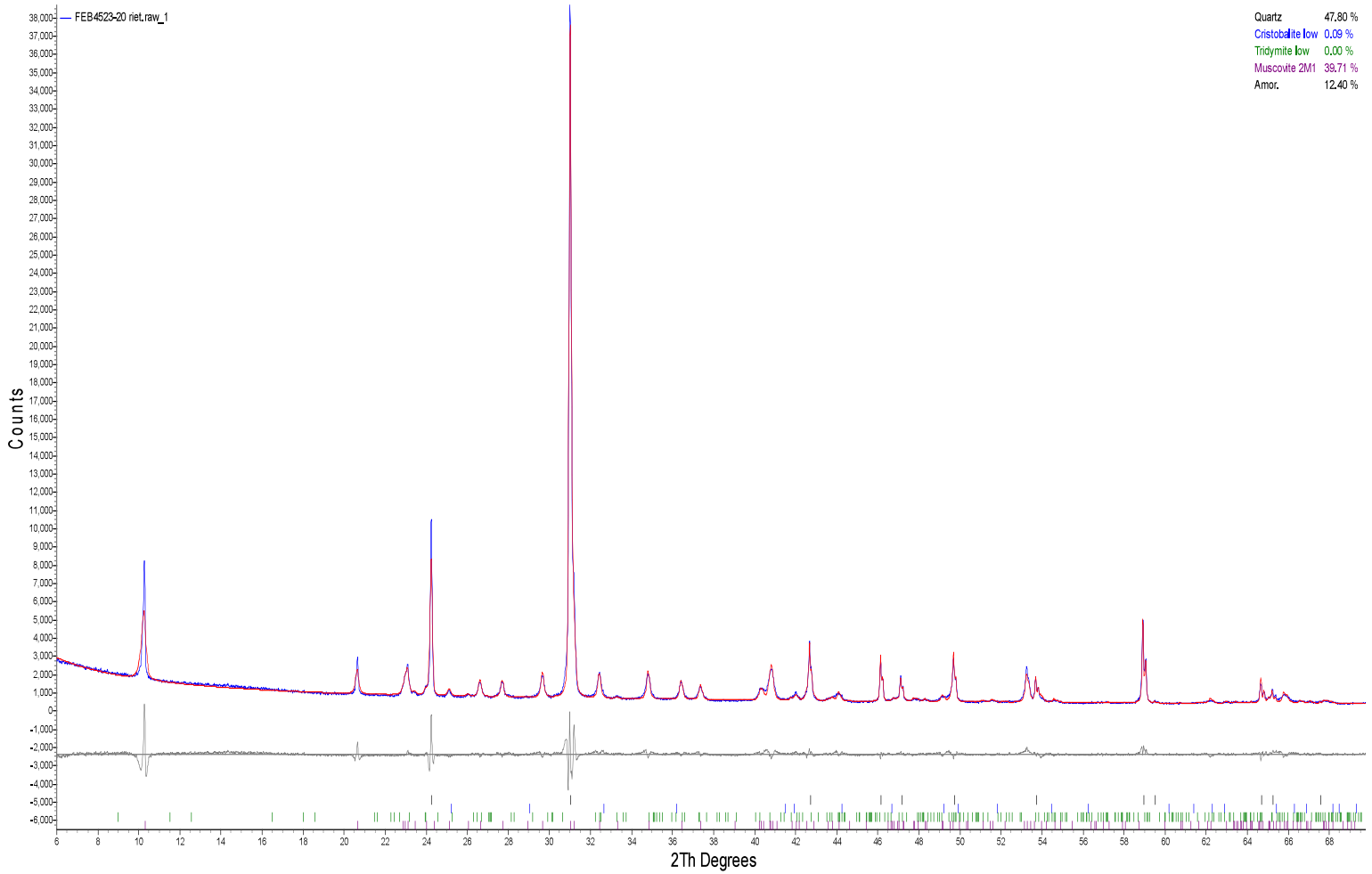
98DN-031-QRIF-76-81



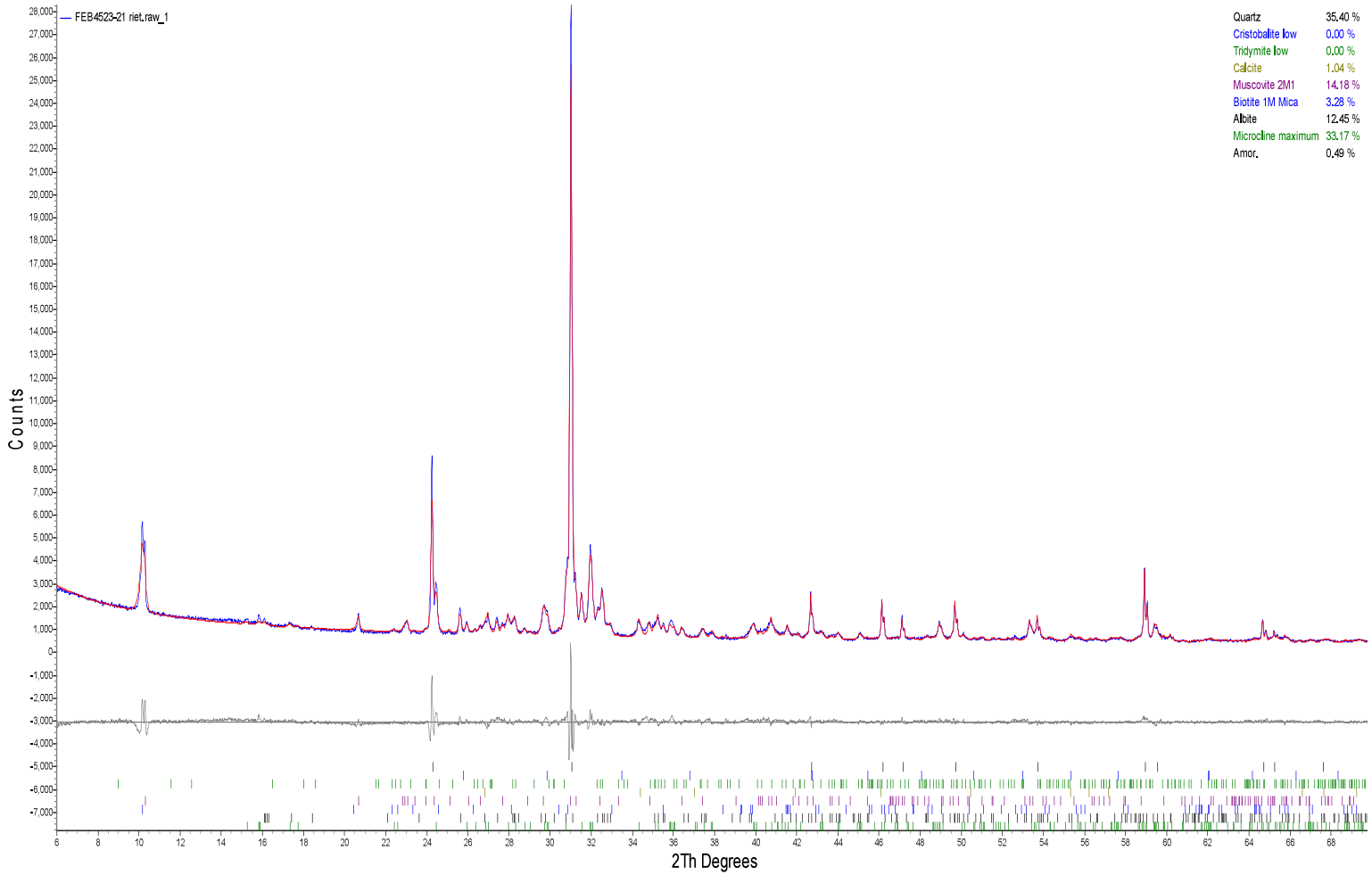
98DN-031-QR-215-220



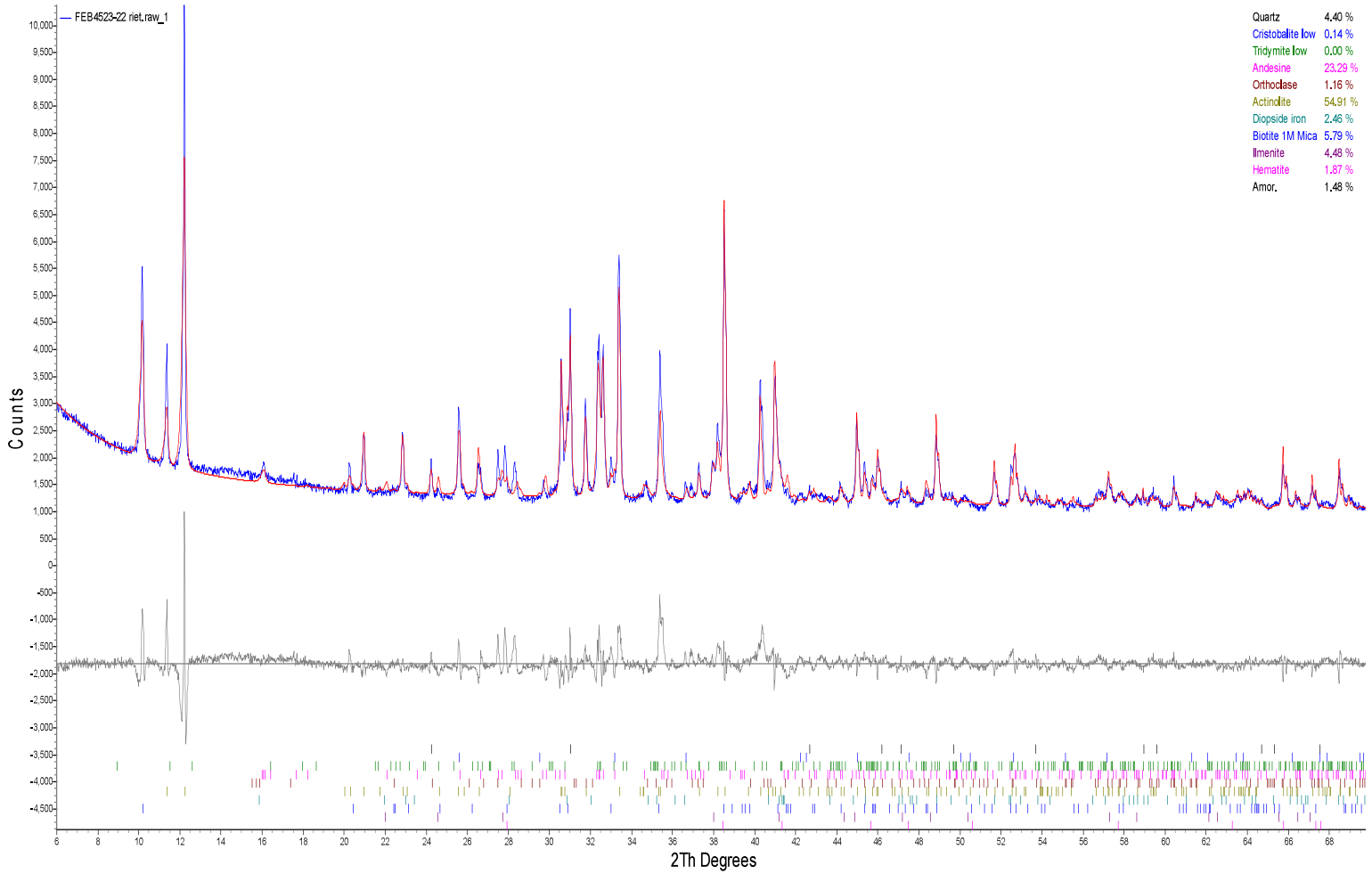
98DN-031-MS-230-235



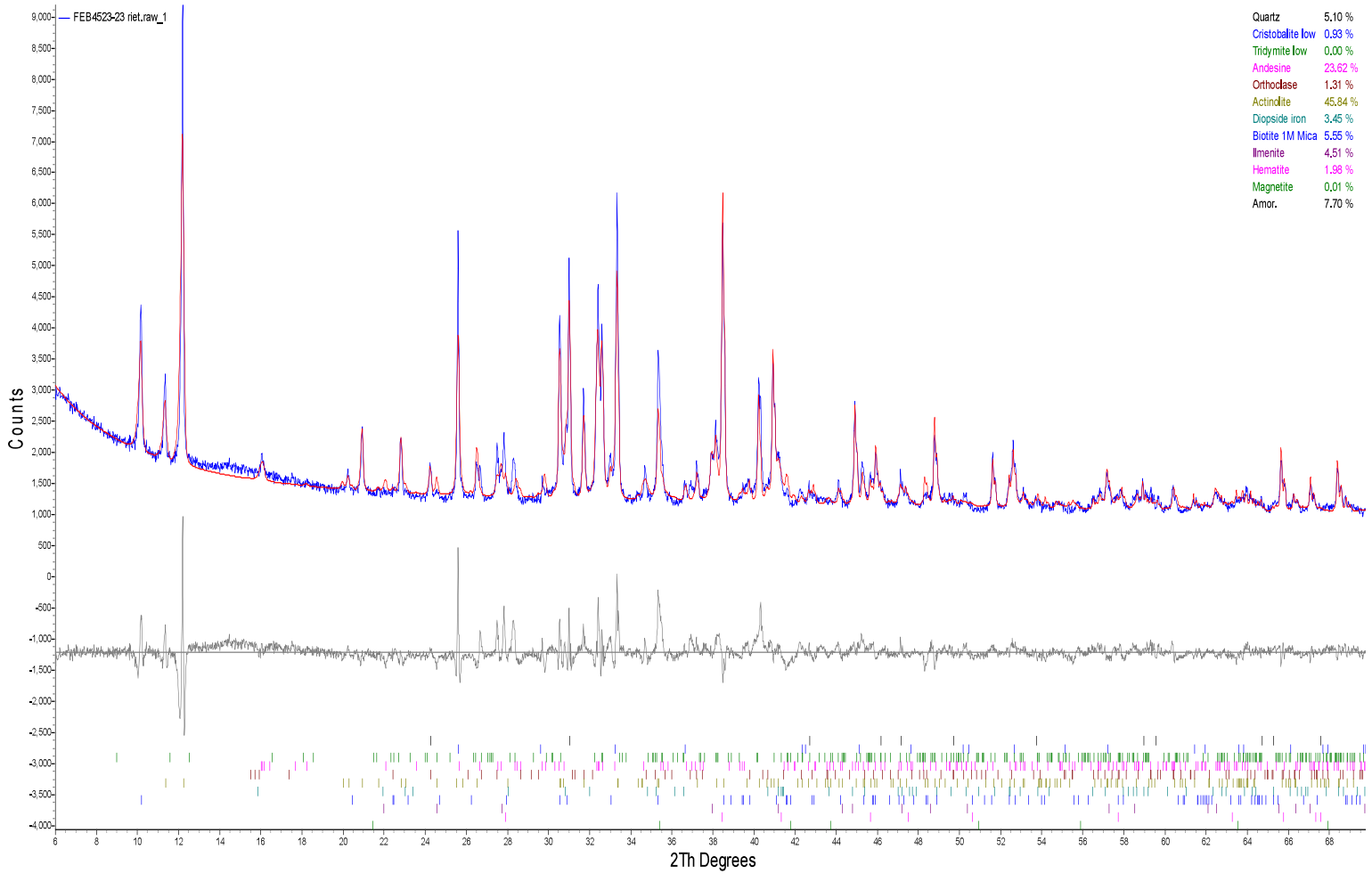
98DN-031-QRMS-290-295



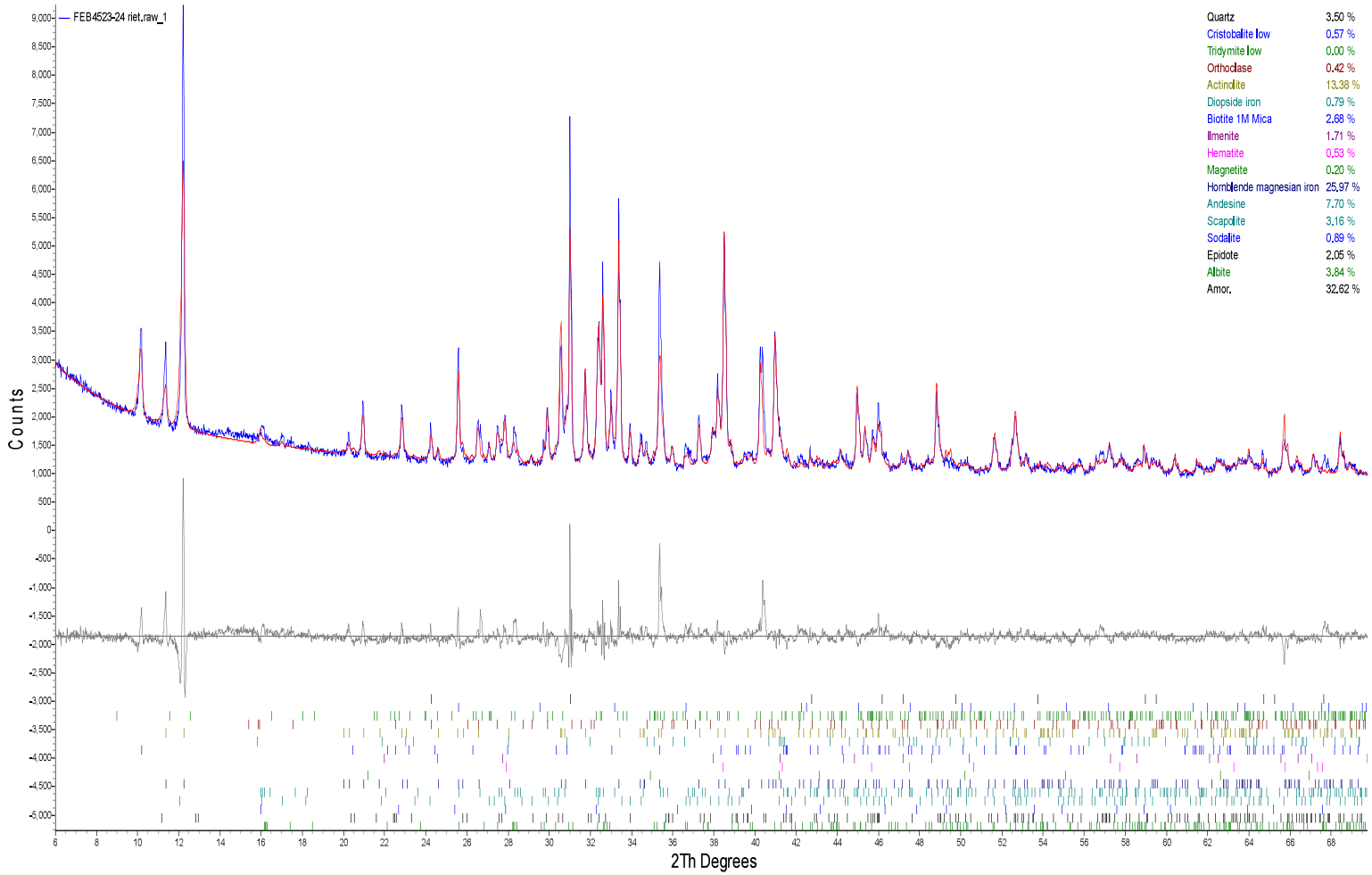
98DN-038-AMP-30-35



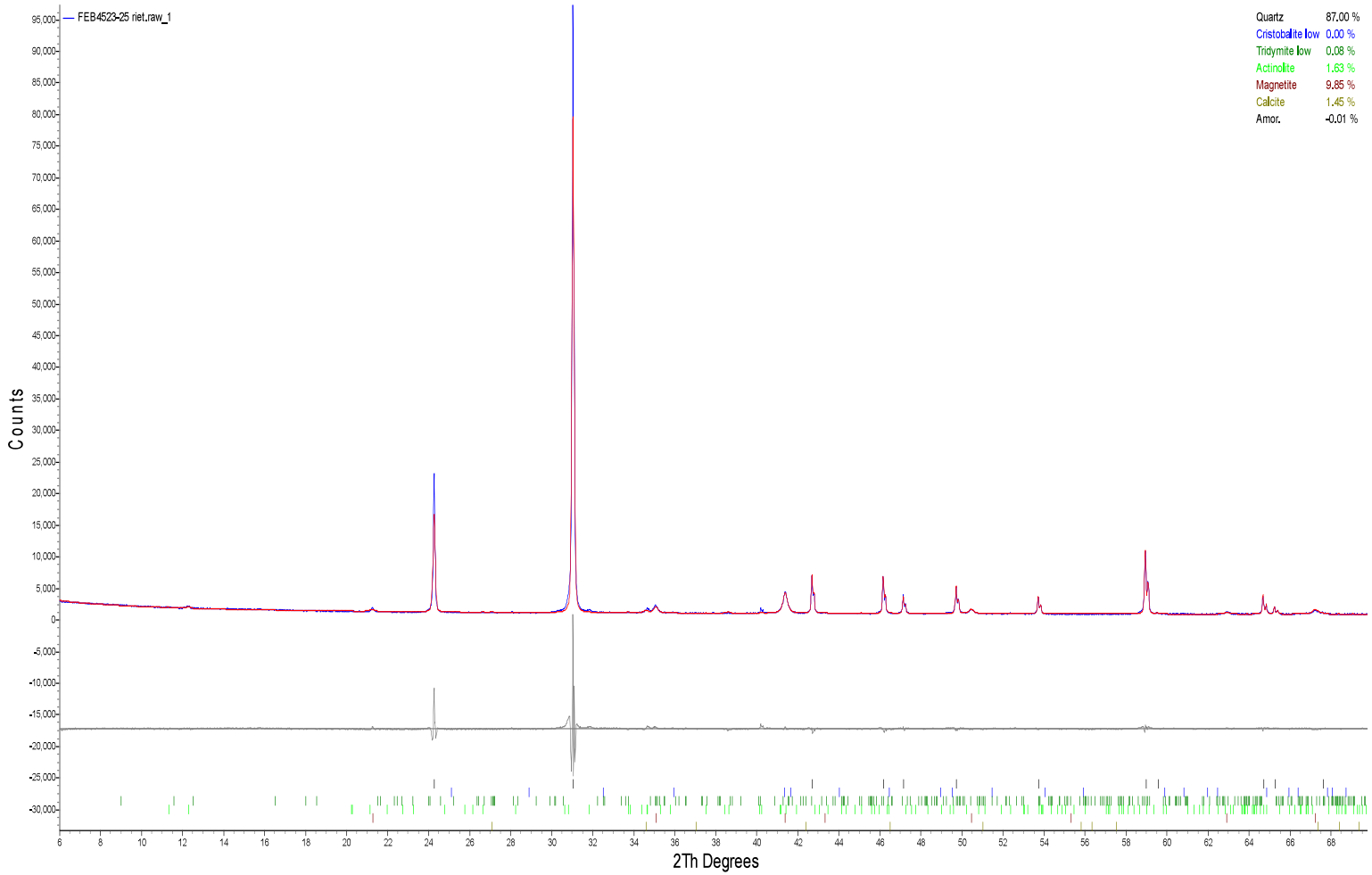
98DN-038-AMP-70-75



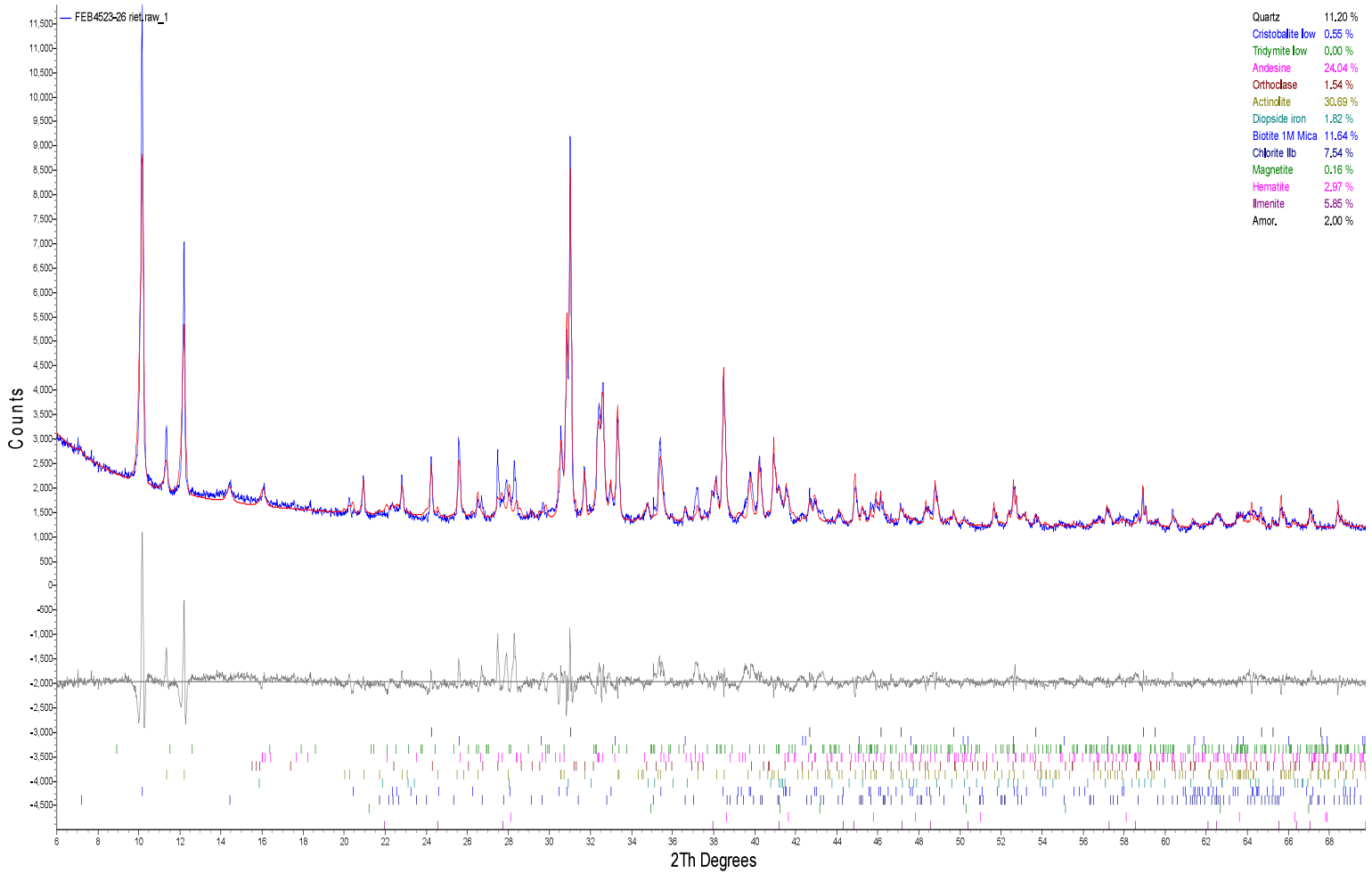
98DN-038-AMP-110-115



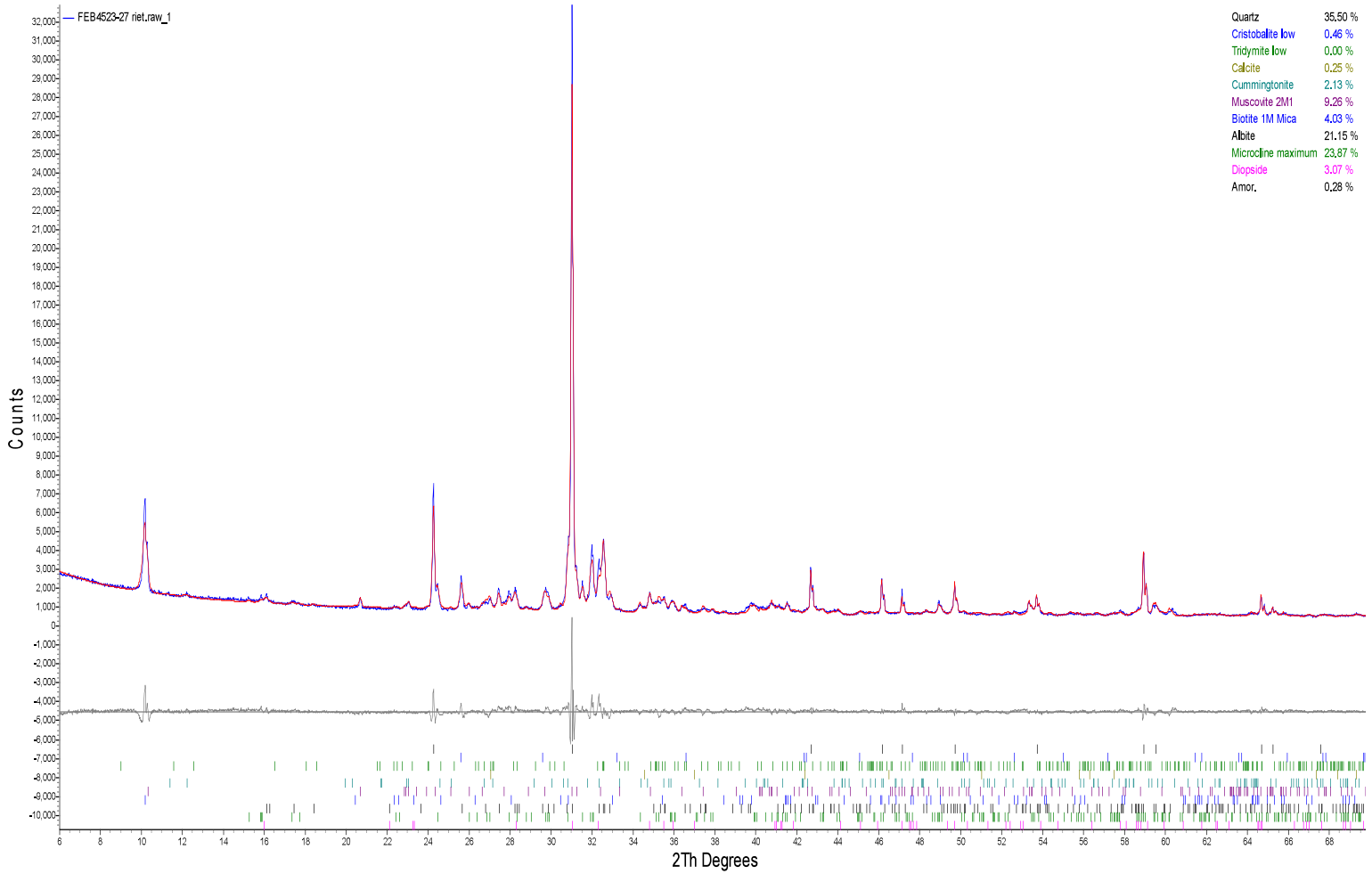
98DN-038-QRIF-175-180



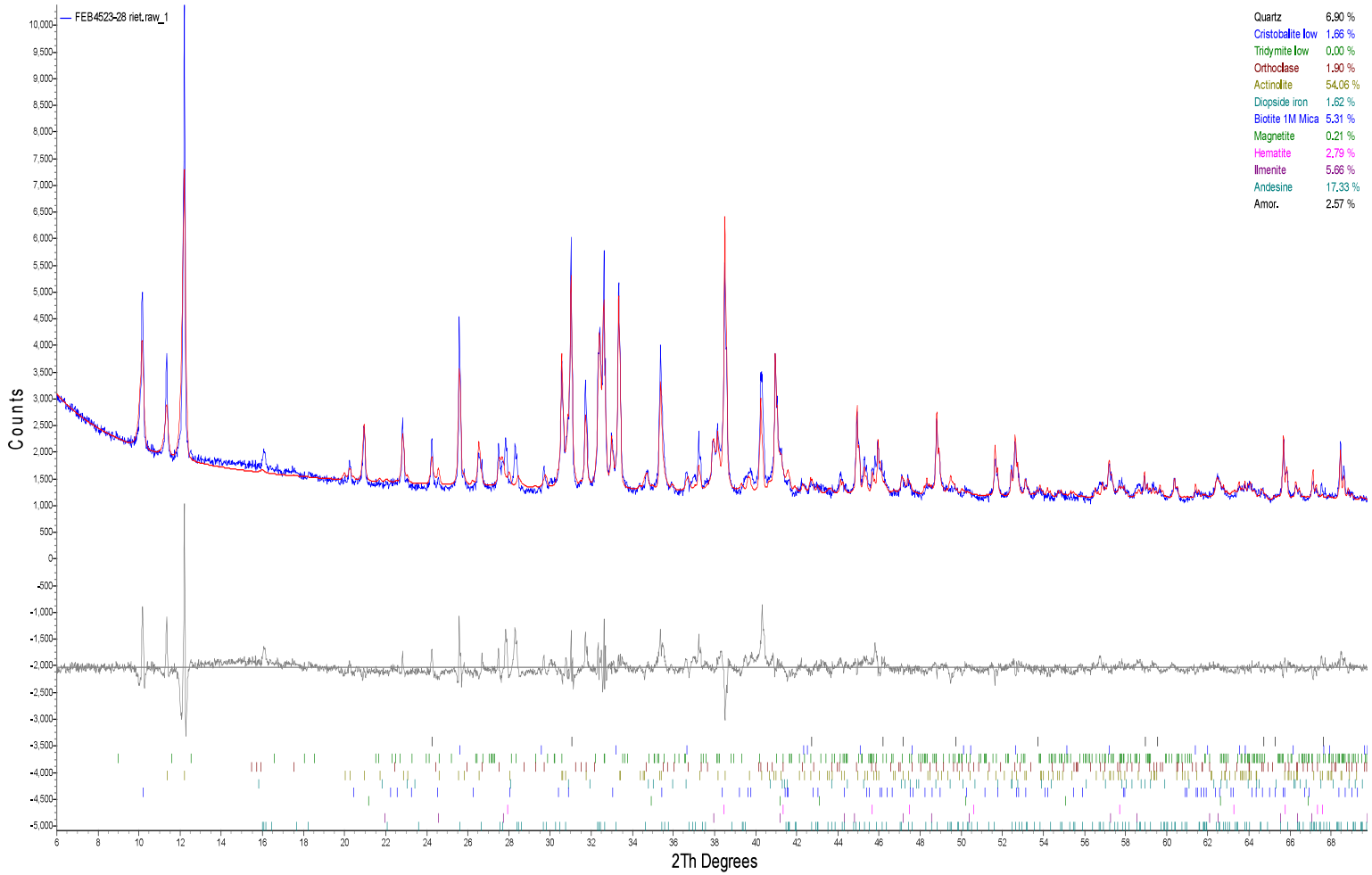
98DN-045-AMP-142-147



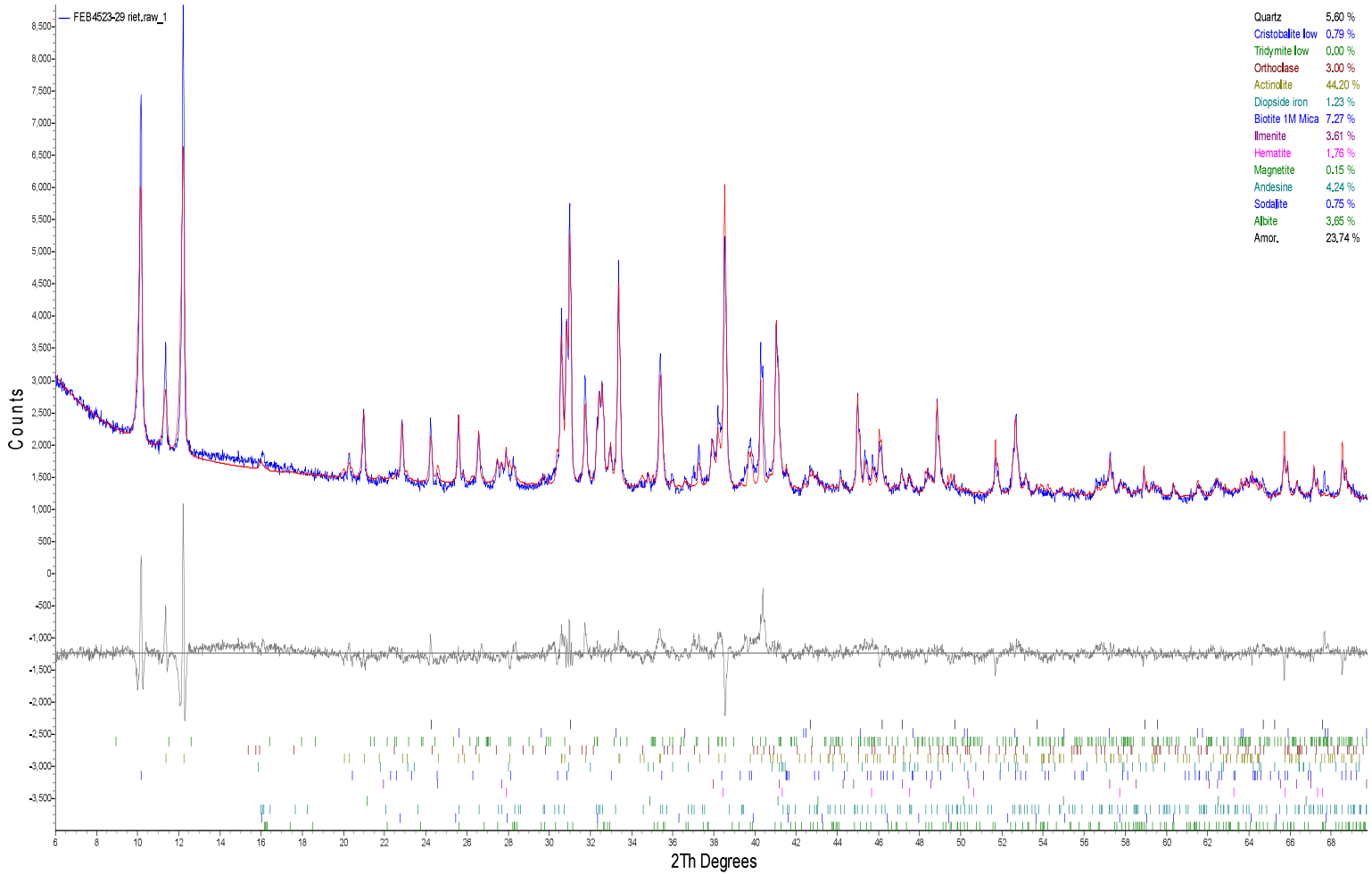
98DN-045-MS-183-188



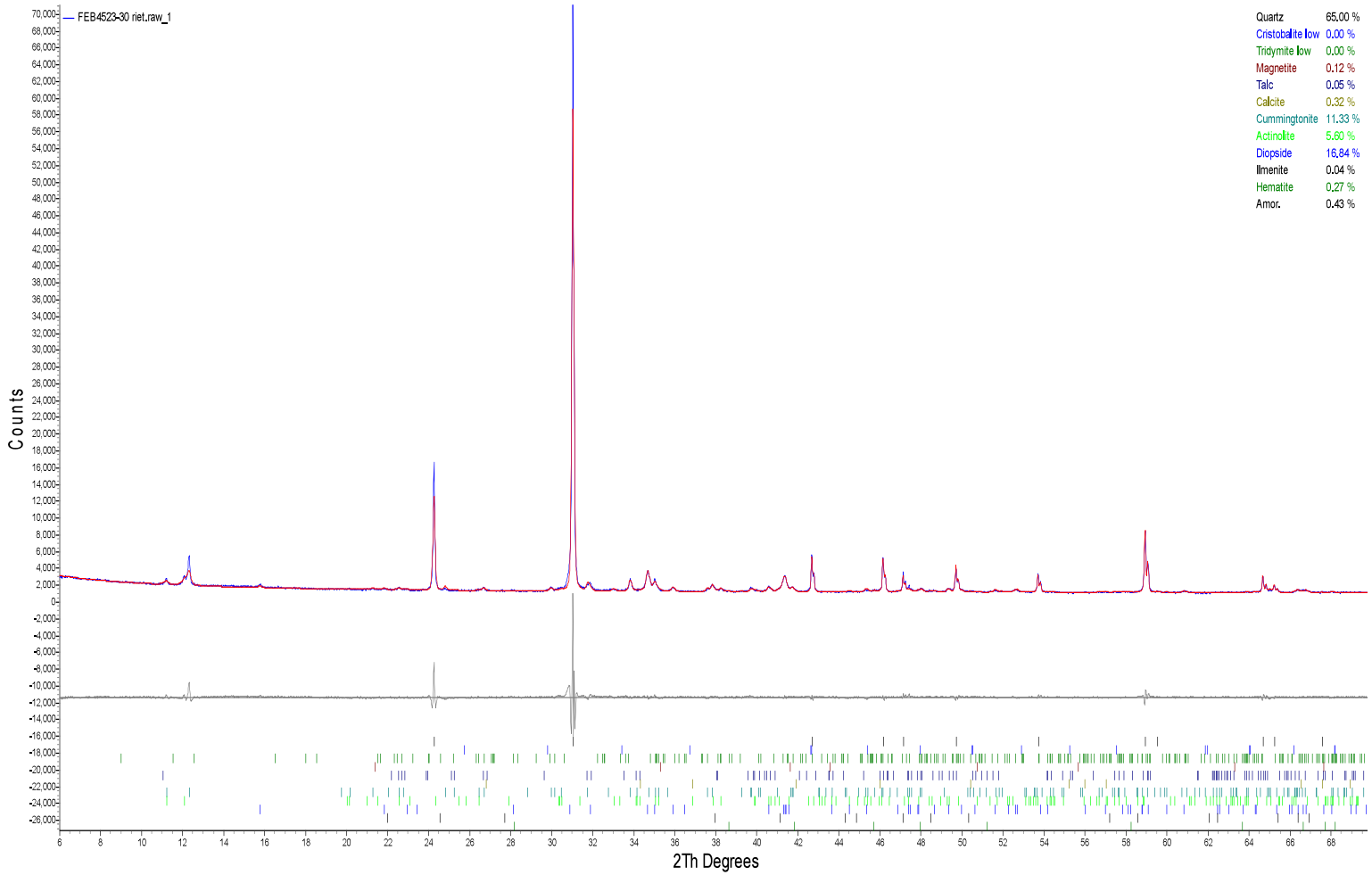
98DN-048-AMP-50-55



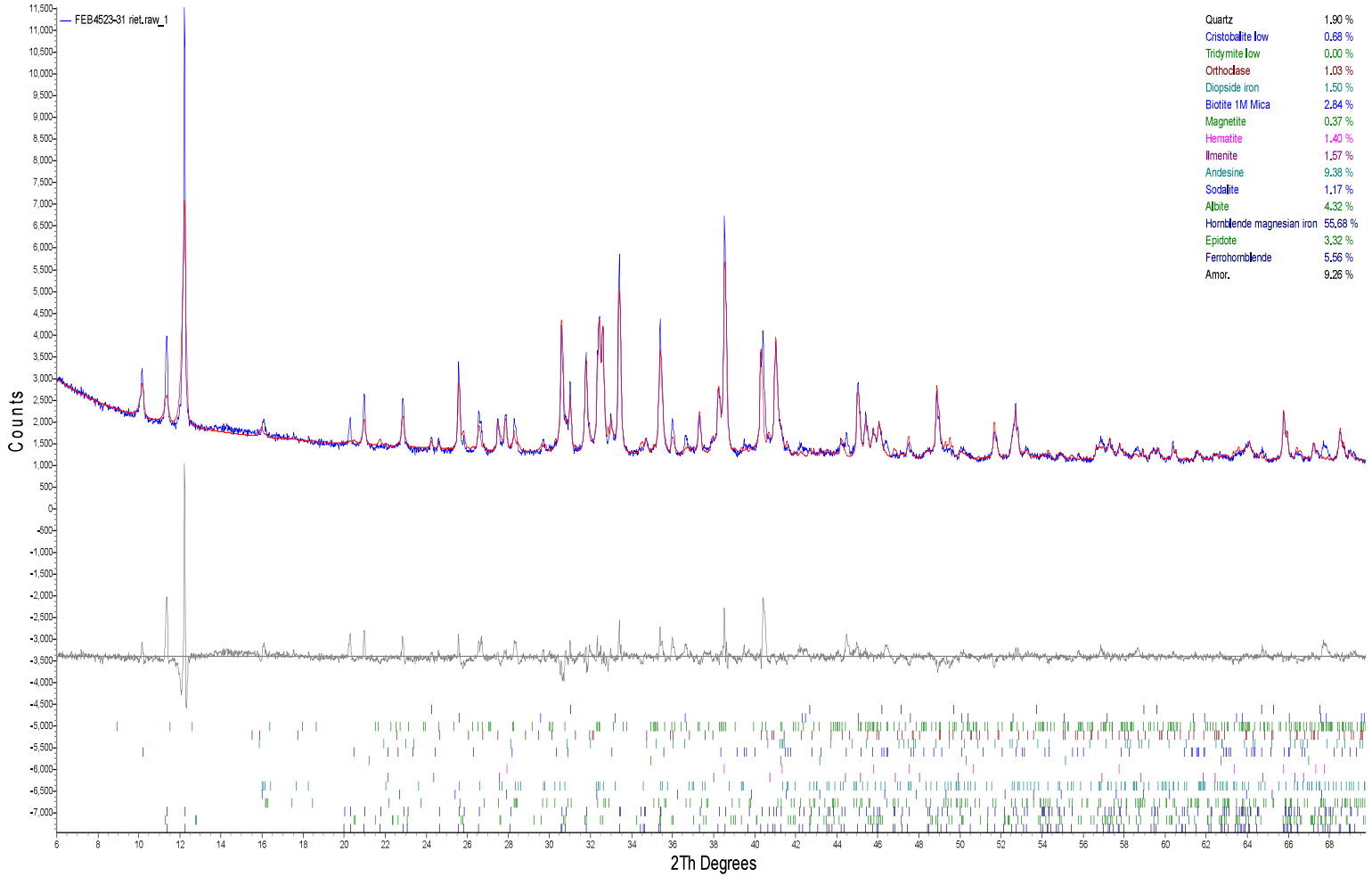
98DN-048-AMP-140-145



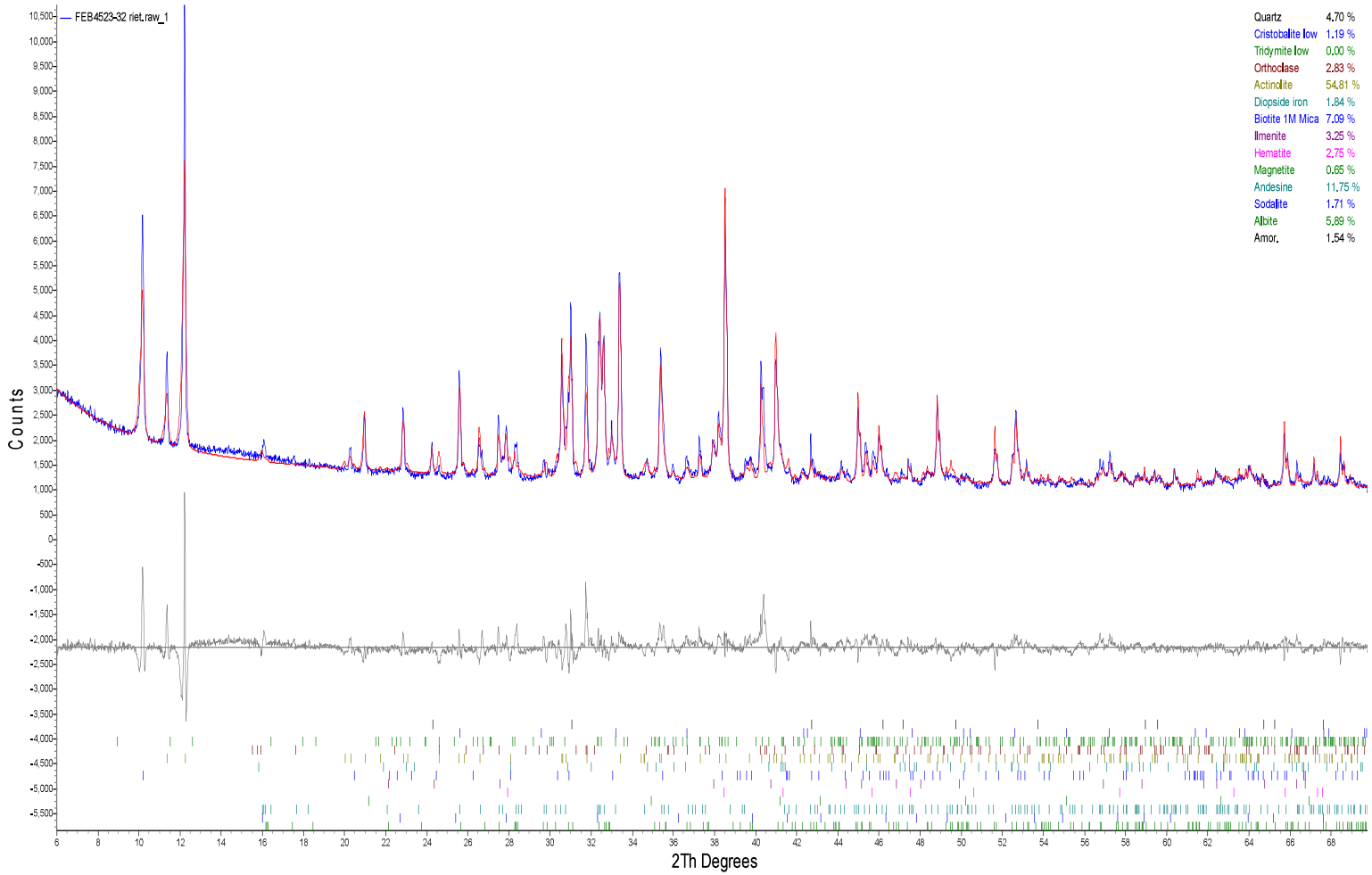
98DN-048-QRIF-230-236



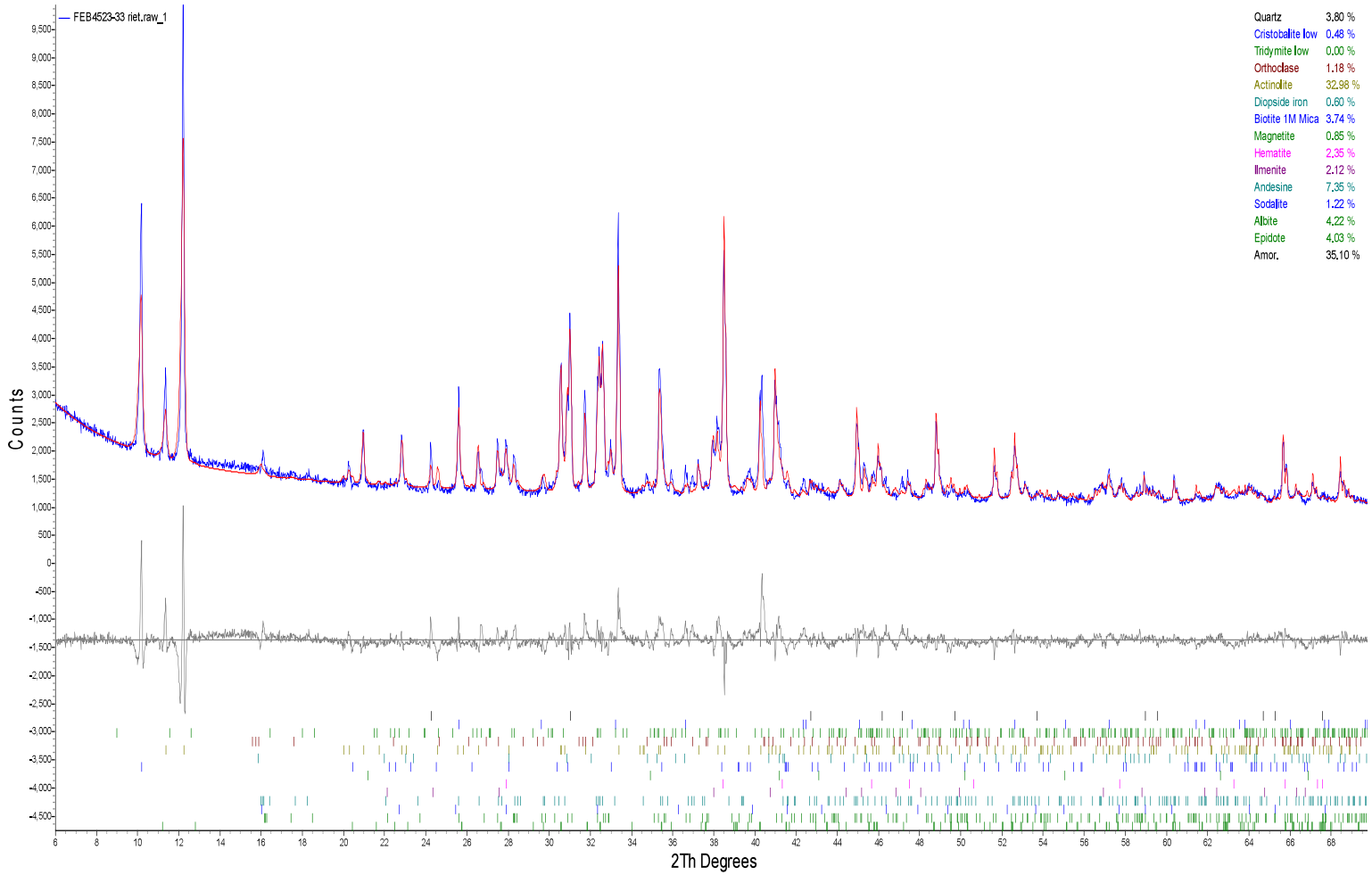
98DN-049-AMP-20-25



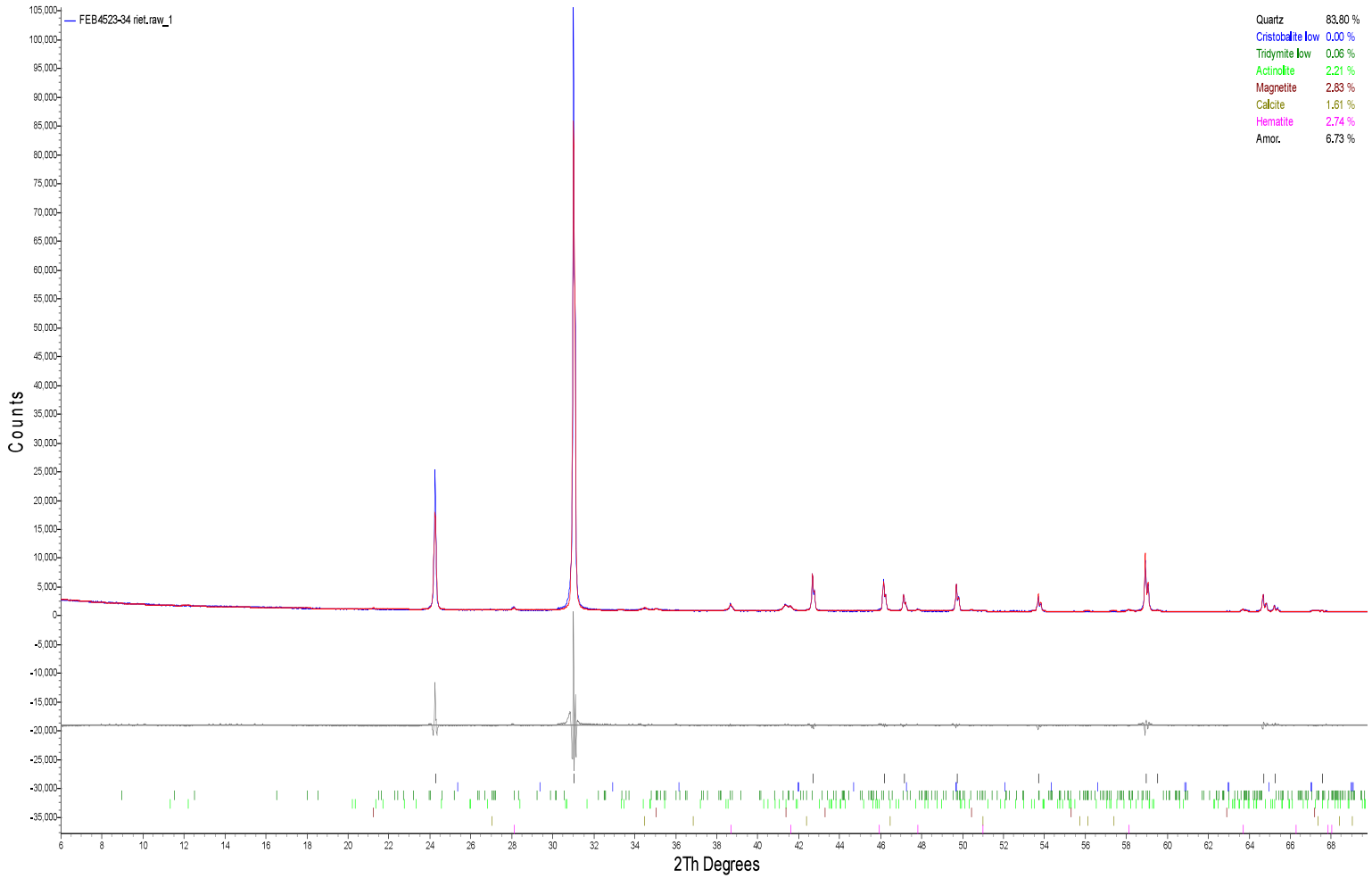
98DN-049-AMP-70-75



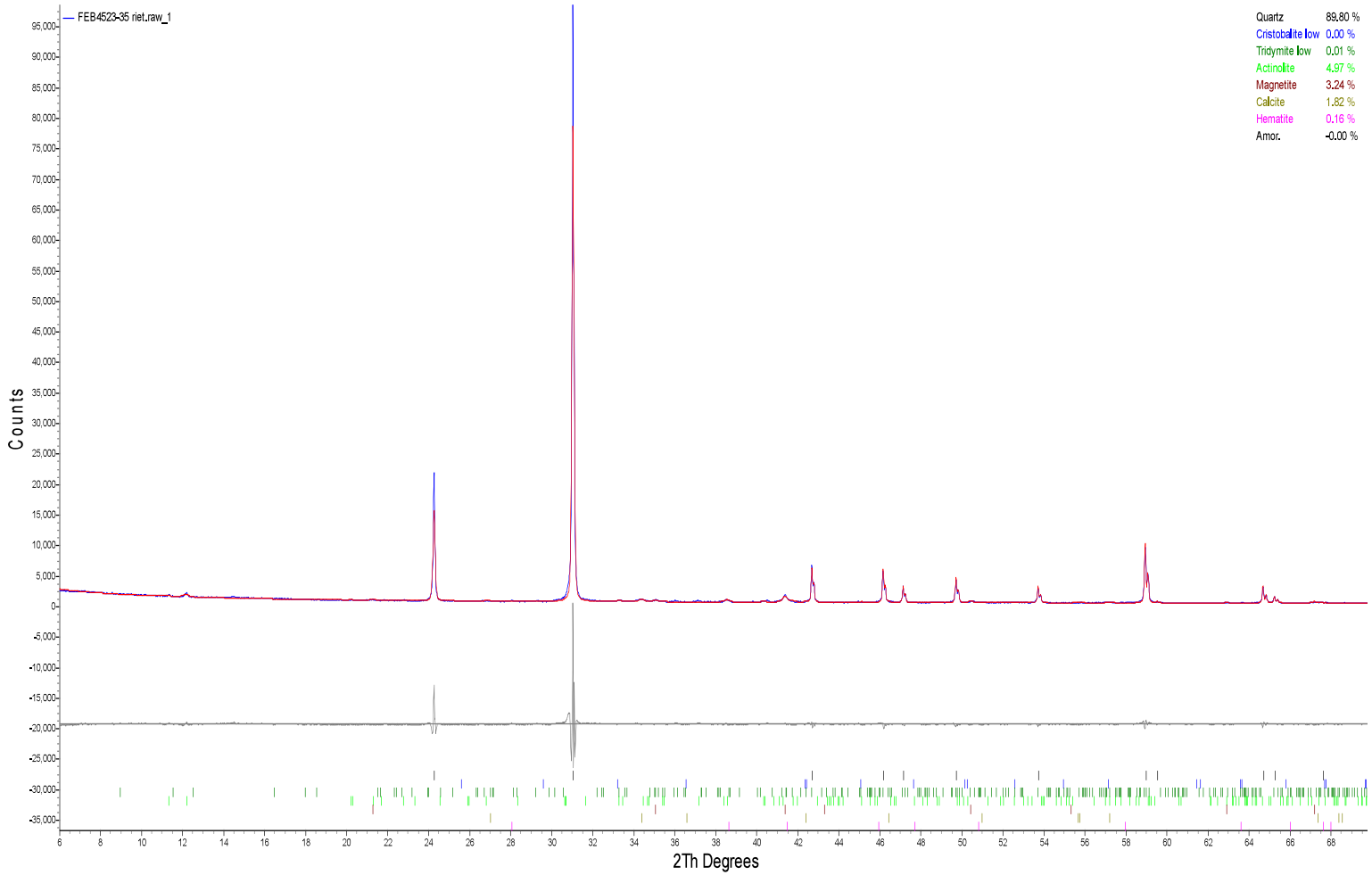
98DN-049-AMP-120-125



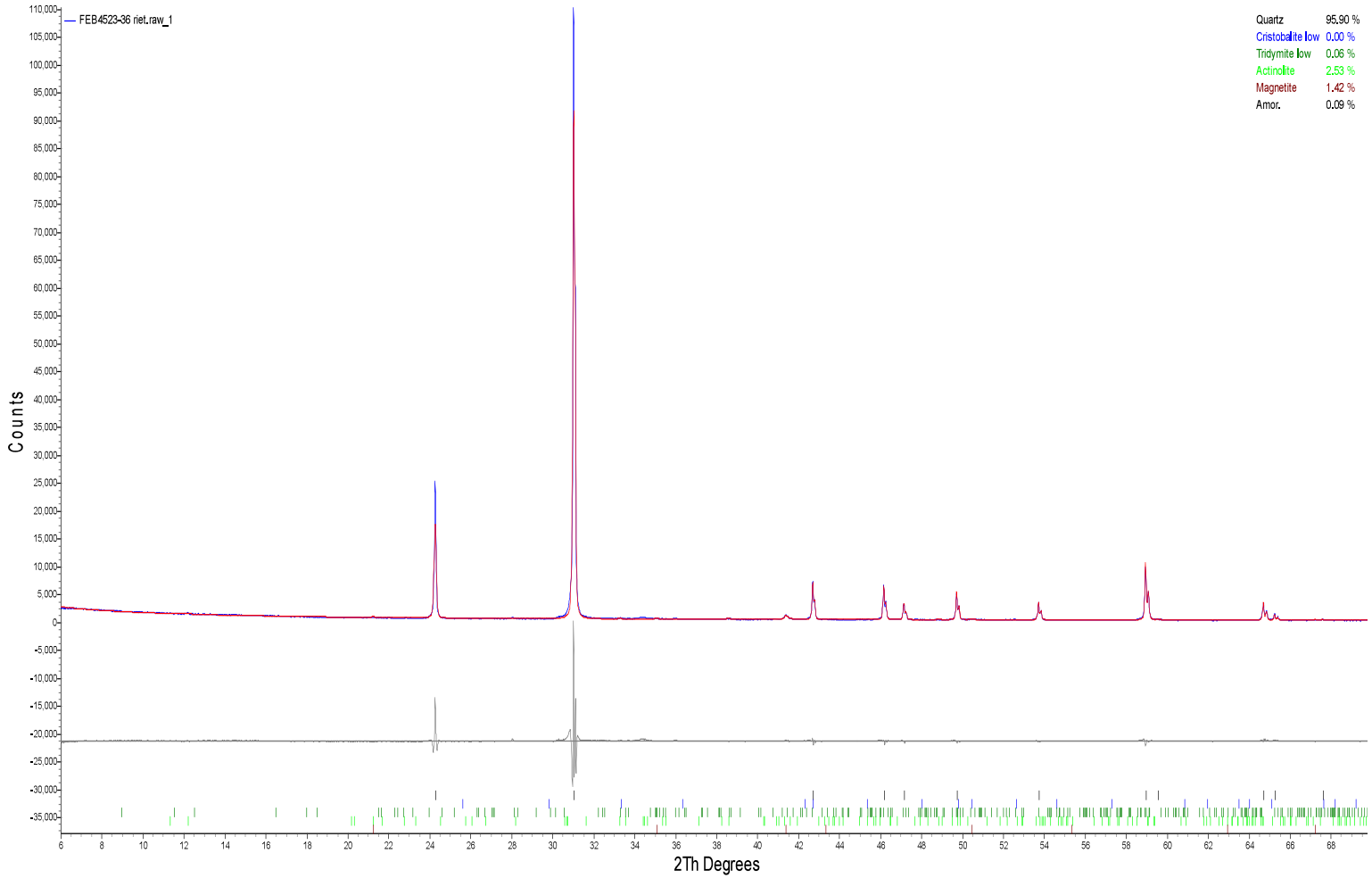
98DN-049-QRIF-204-209



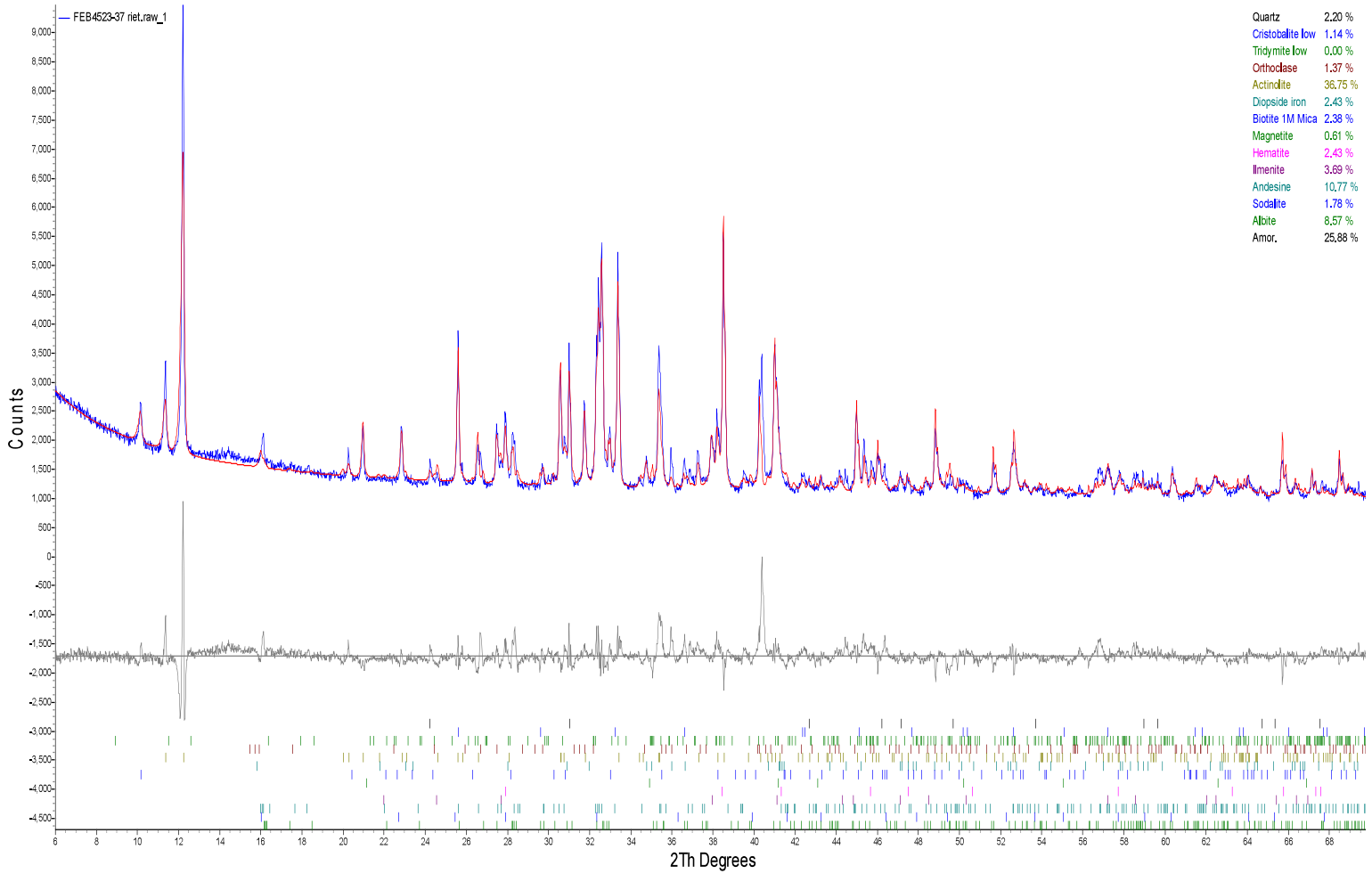
98DN-049-QRIF-318-323



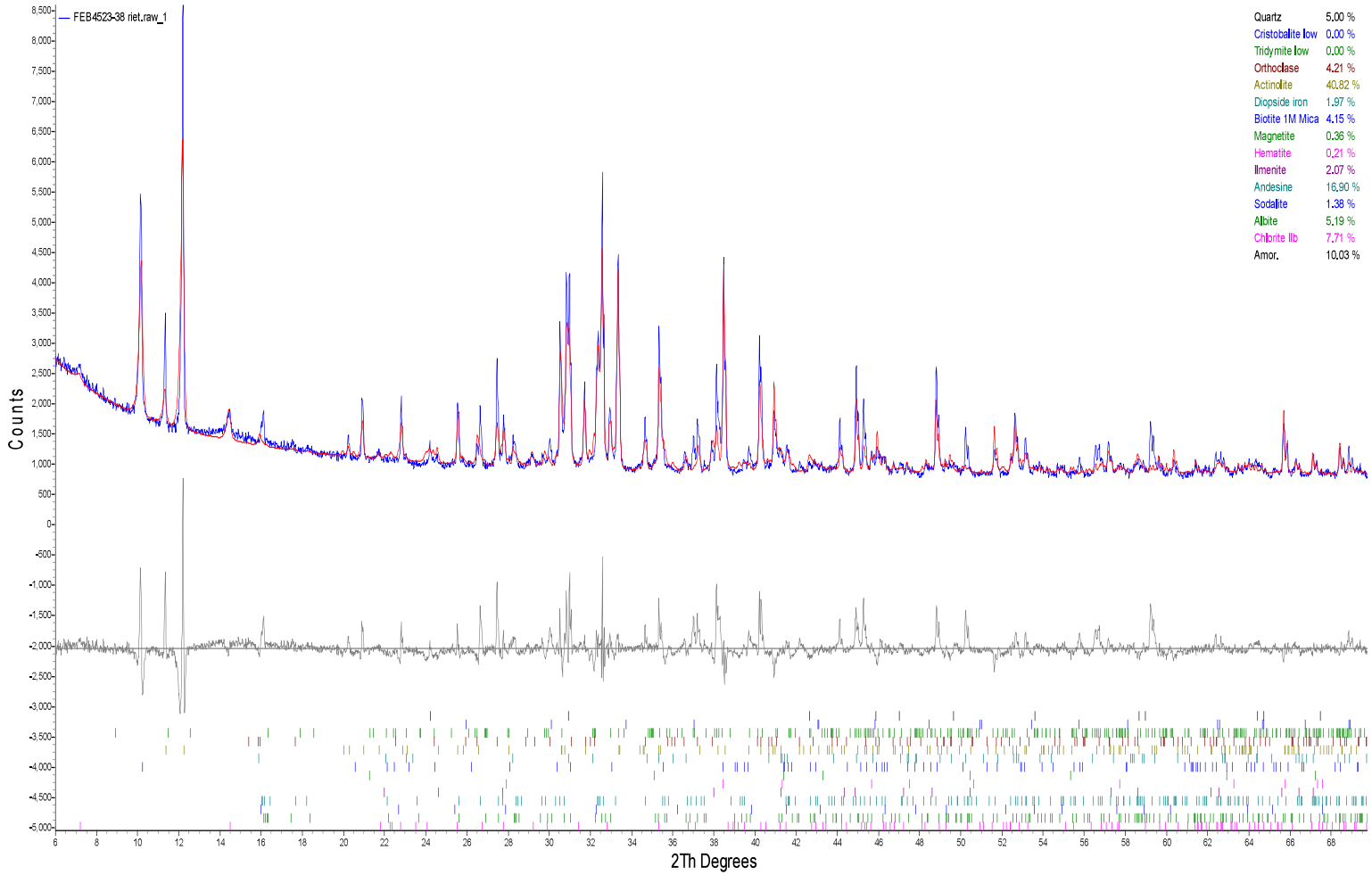
98DN-049-QR-325-330

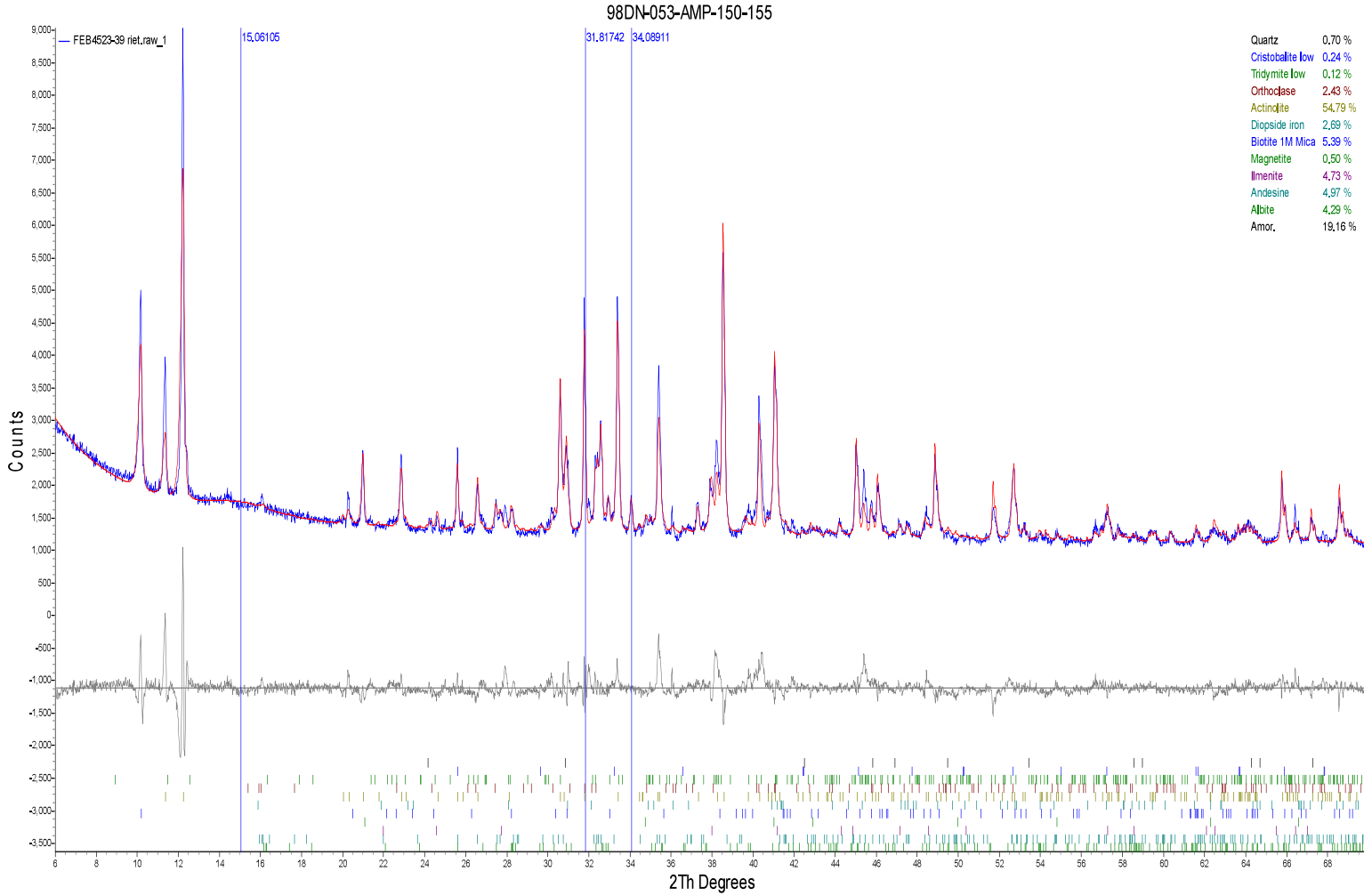


98DN-053-AMP-50-55

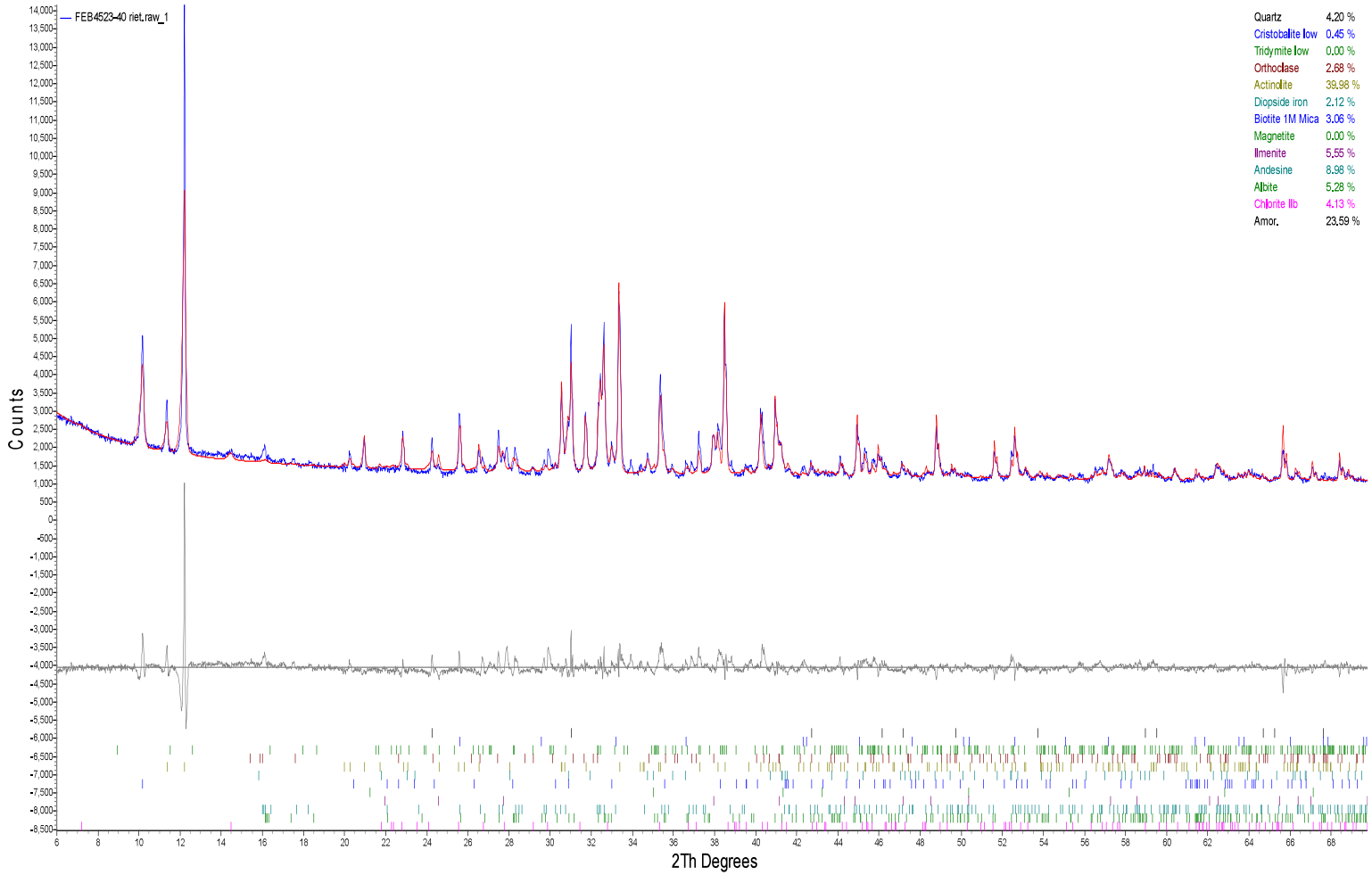


98DN-053-AMP-100-105

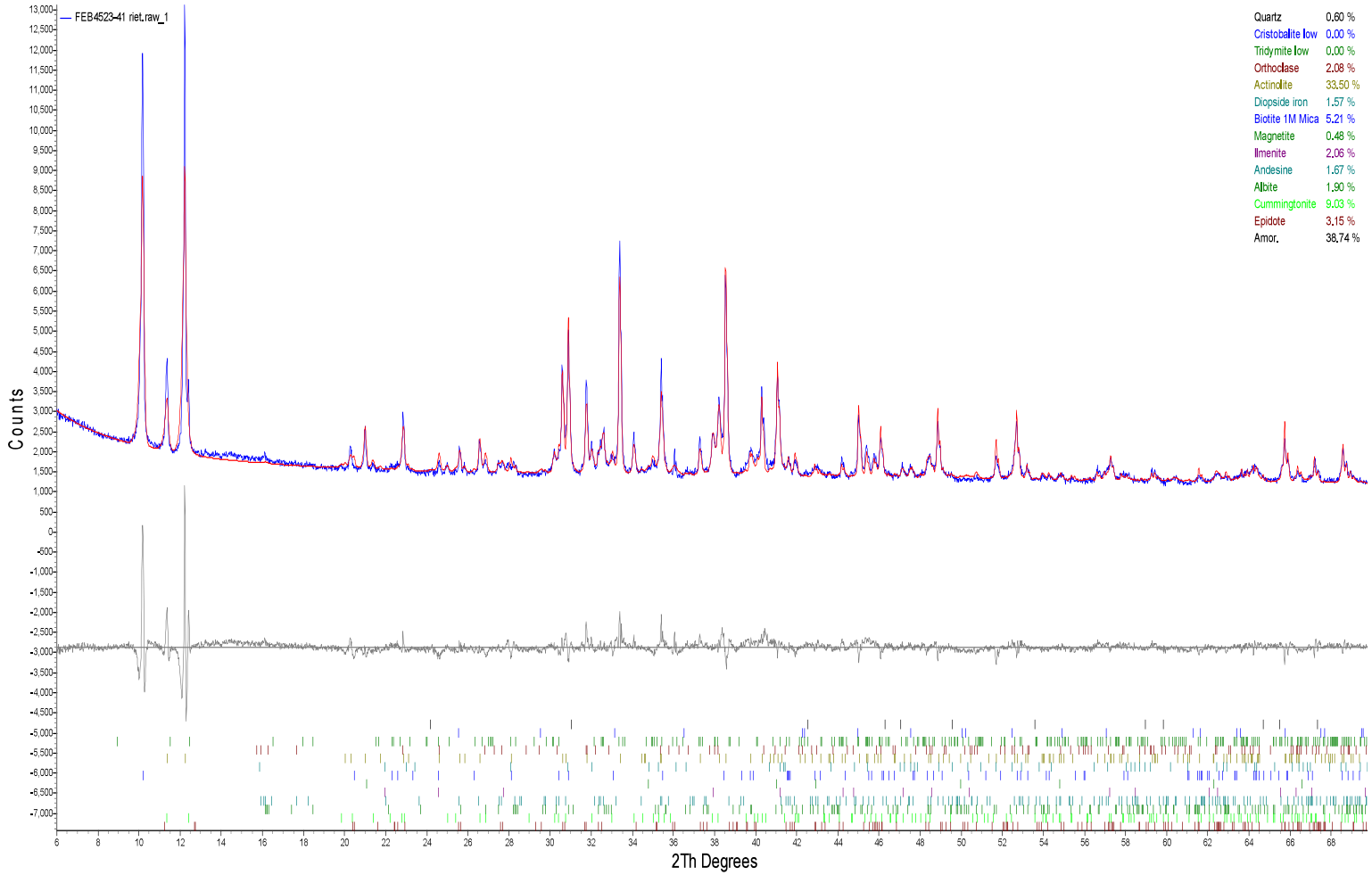



98DN-053-AMP-150-155
FEB4523-39 riet.raw_1
15.06105
31.81742
34.08911
Quartz 0.70 %
Cristobalite low 0.24 %
Tridymite low 0.12 %
Orthoclase 2.43 %
Actinolite 54.79 %
Diopside iron 2.69 %
Biotite 1M Mica 5.39 %
Magnetite 0.50 %
Ilmenite 4.73 %
Andesine 4.97 %
Albite 4.29 %
Amor. 19.16 %
Counts
2Th Degrees

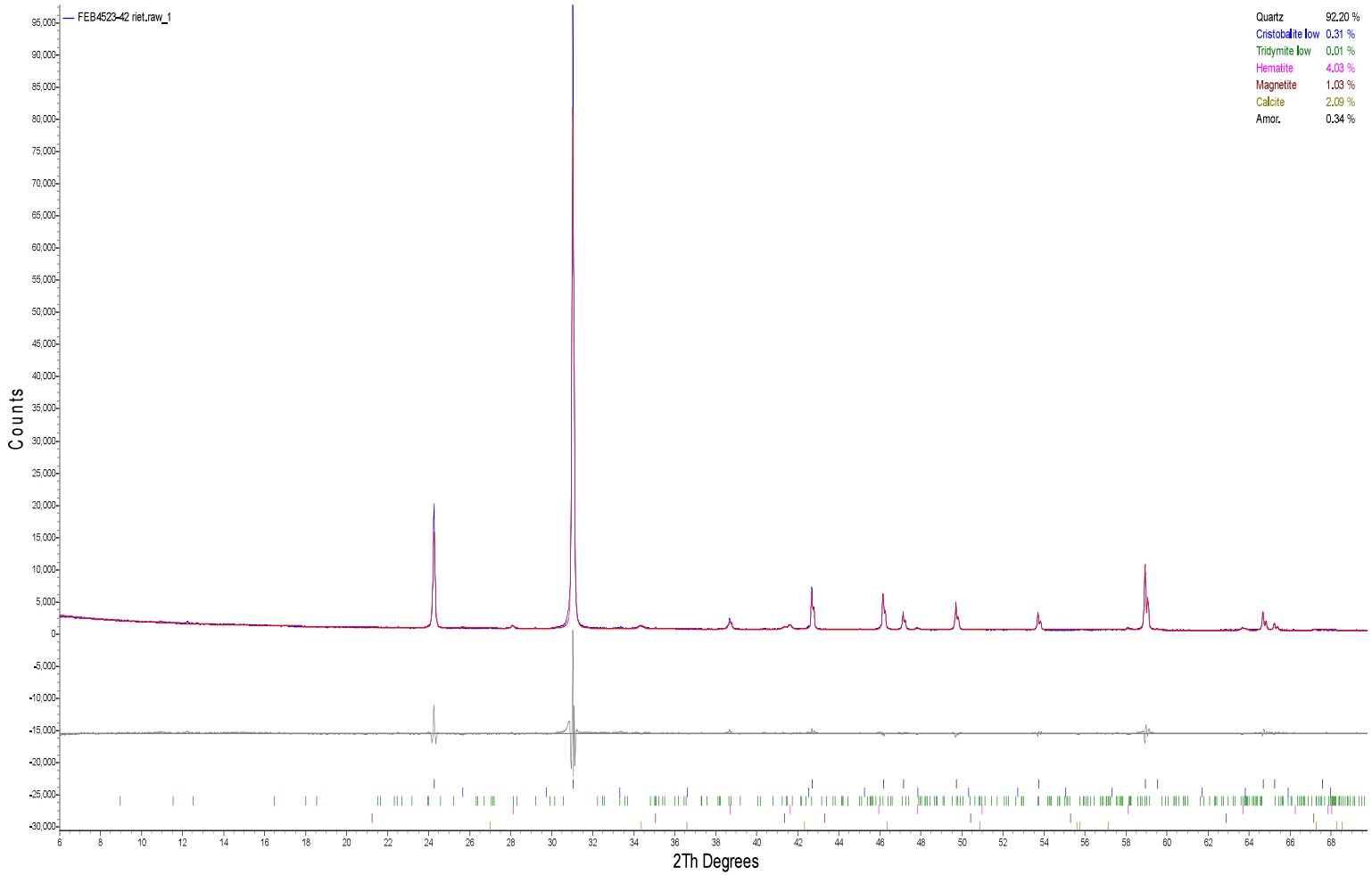
98DN-053-AMP-200-205



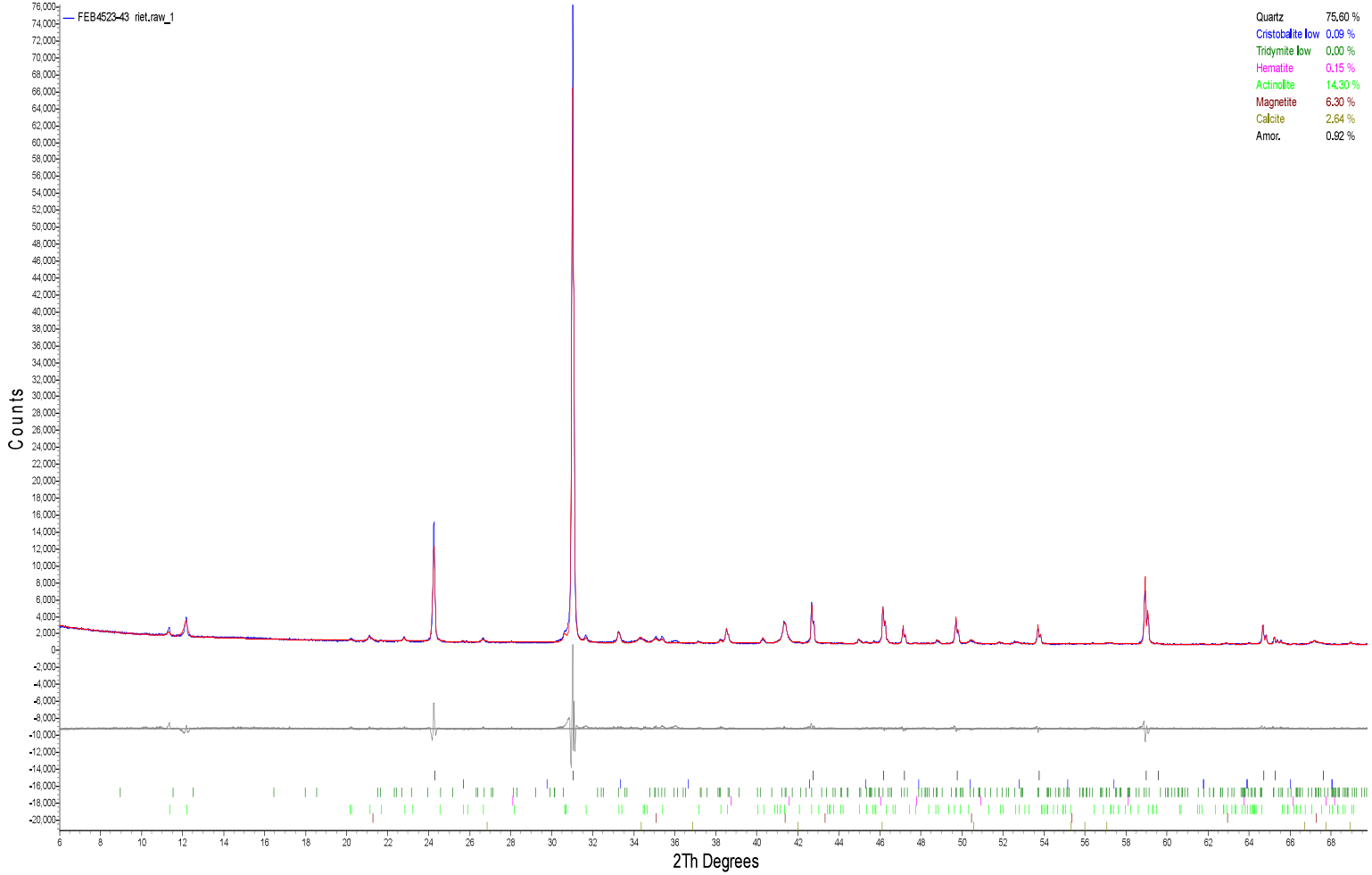
98DN-053-AMP-245-250



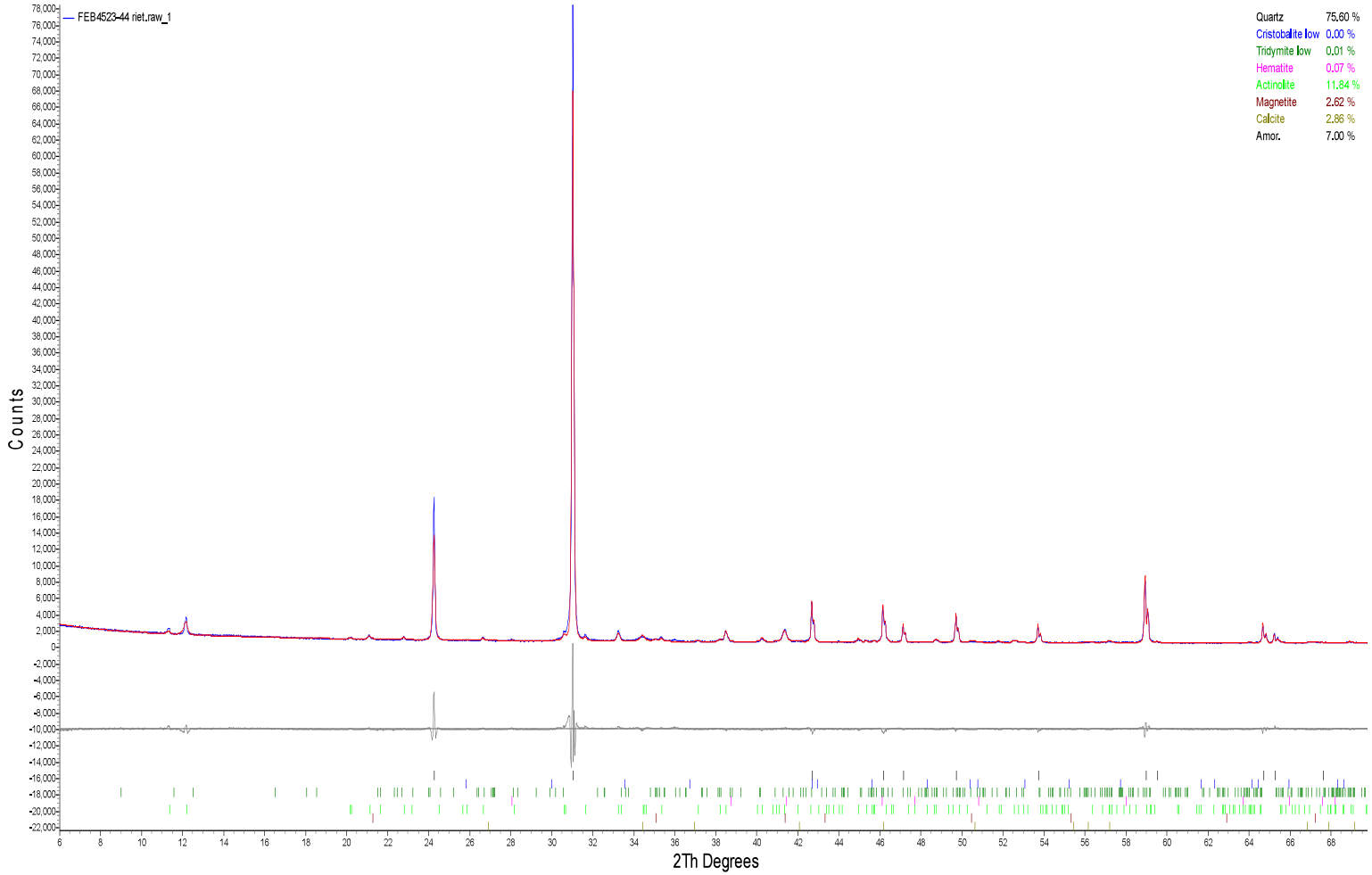
98DN-065A-QR-150-155



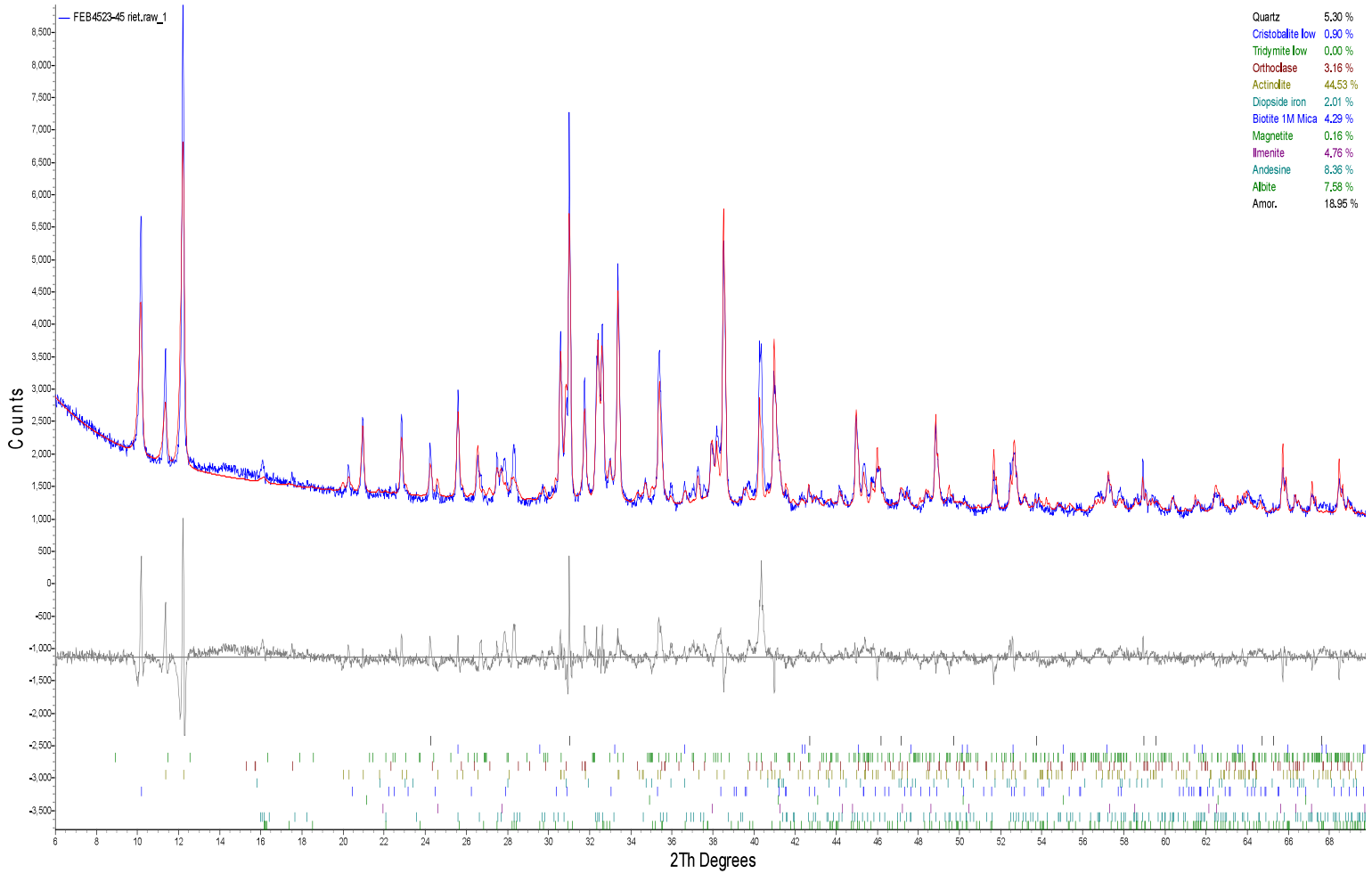
98DN-065A-WSIF-165-170



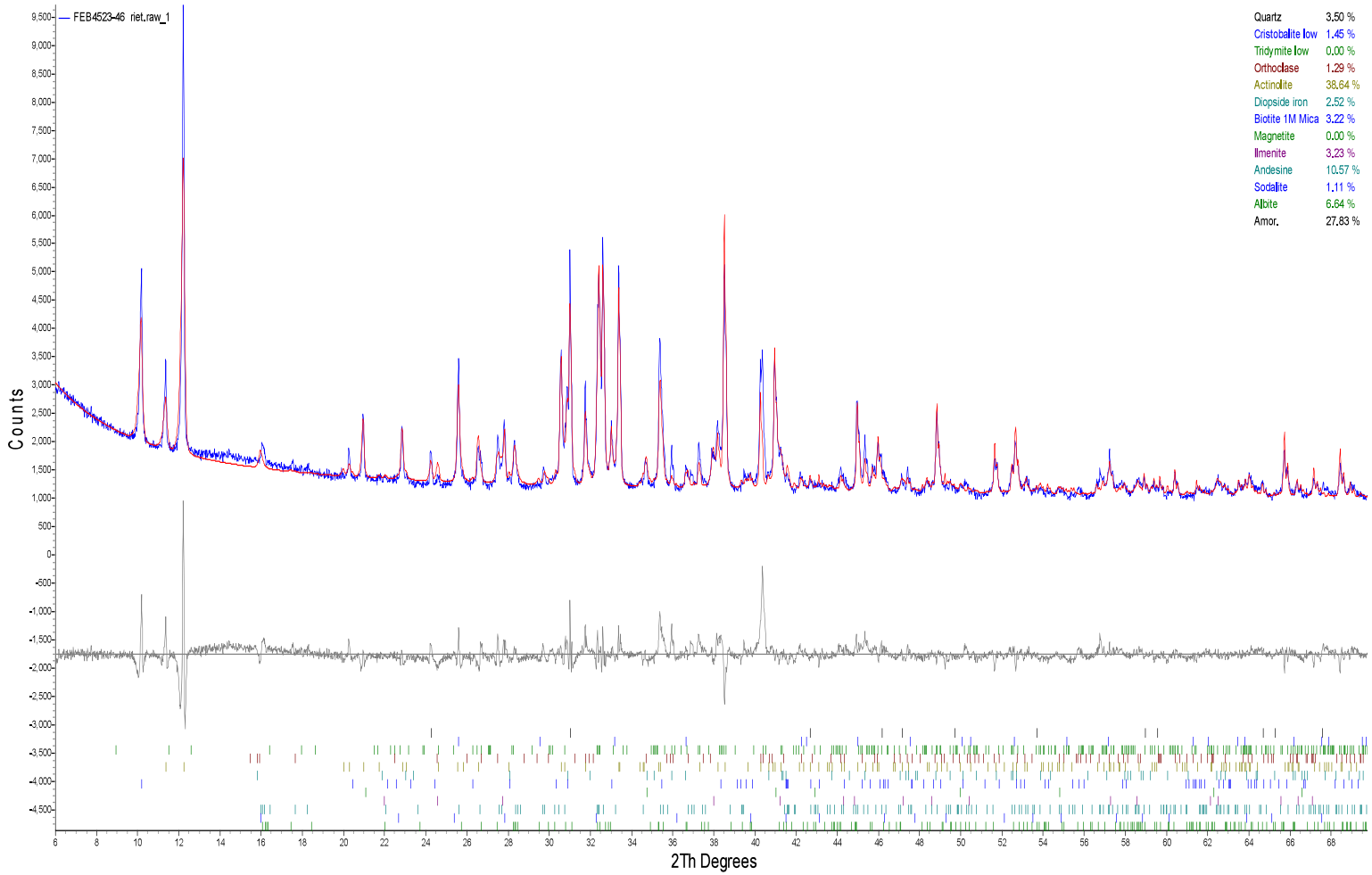
98DN-065A-QR-212-217



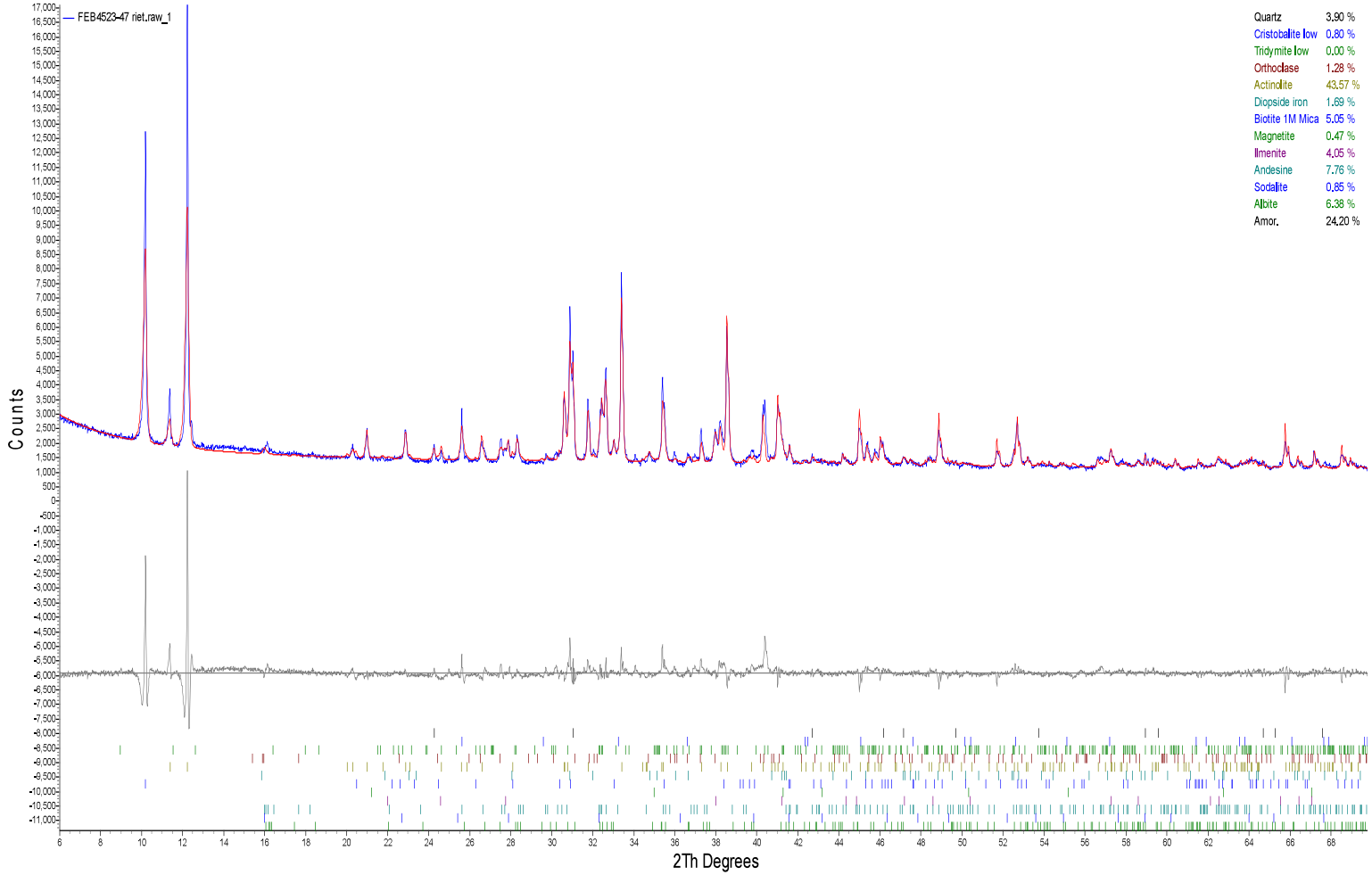
98DN-068-AMP-20-25



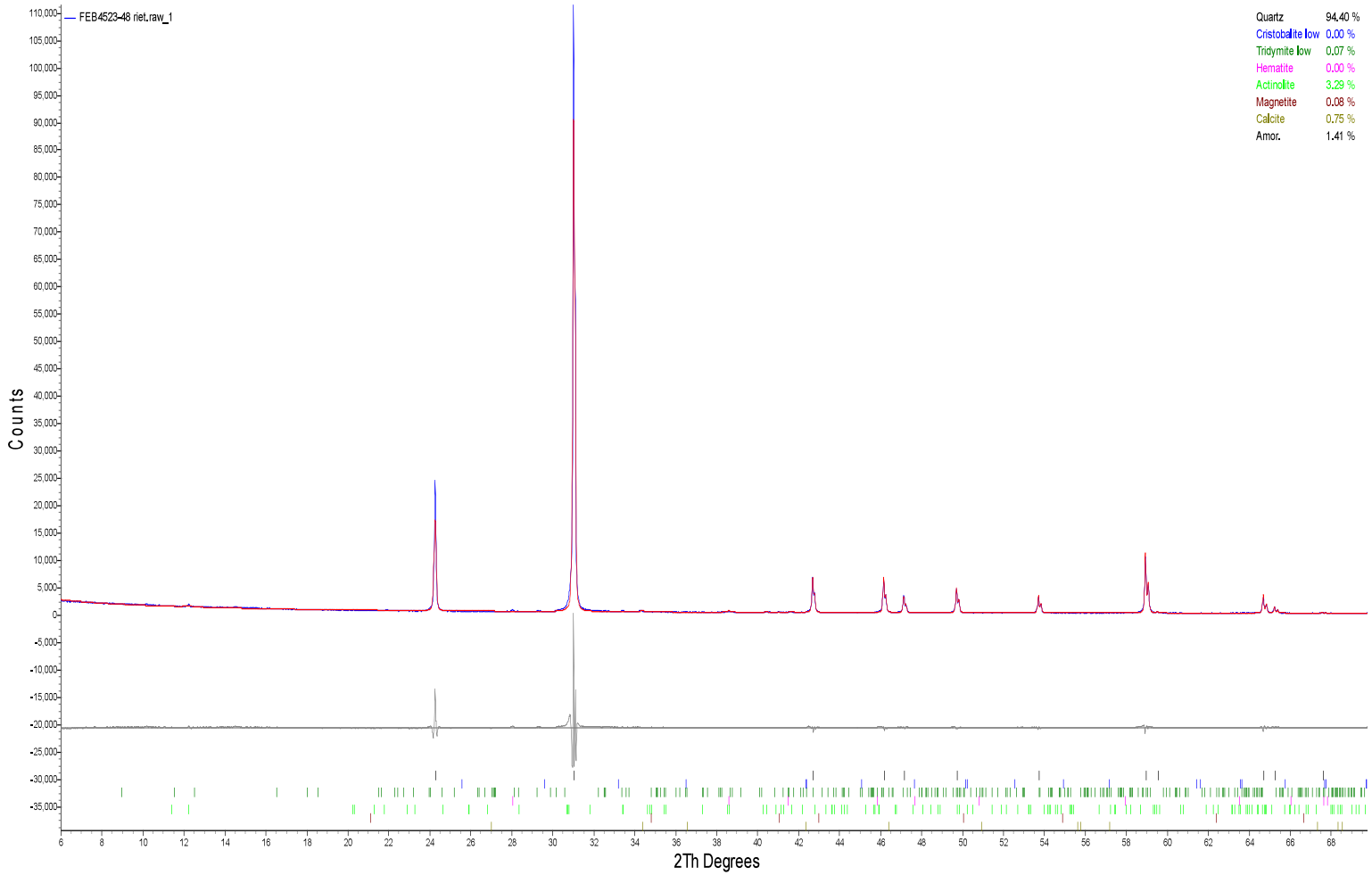
98DN-069-AMP-10-15



98DN-069-AMP-55-60



98DN-069-QR-185-190



Quantitative X-Ray Diffraction by Rietveld Refinement

Report Prepared for:	*Environmental Services*
Project Number/ LIMS No.	*Custom XRD/MI4523-FEB22*
Sample Receipt:	*February 17, 2022*
Sample Analysis:	*April 17, 2022*
Reporting Date:	*May 5, 2022*

Instrument:	BRUKER AXS D8 Advance Diffractometer
Test Conditions:	Co radiation, 35 kV, 40 mA Regular Scanning: Step: 0.02°, Step time: 1s, 2θ range: 6-70°
Interpretations :	PDF2/PDF4 powder diffraction databases issued by the International Center for Diffraction Data (ICDD). DiffracPlus Eva and Topas software.
Detection Limit :	0.5-2%. Strongly dependent on crystallinity.

Contents:

1) Method Summary
2) Quantitative XRD Results
3) XRD Pattern(s)

Zhihai (Adrian) Zhang, Ph.D.
Junior Mineralogist

Huyun Zhou, Ph.D., P.Geo.
Senior Mineralogist

ACCREDITATION: SGS Natural Resources Lakefield is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025 for specific tests as listed on our scope of accreditation, including geochemical, mineralogical and trade mineral tests. To view a list of the accredited methods, please visit the following website and search SGS Canada Inc. - Minerals: https://www.scc.ca/en/search/palcan.

Method Summary

The Rietveld Method of Mineral Identification by XRD (ME-LR-MIN-MET-MN-D05) method used by SGS Natural Resources is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025.

Mineral Identification and Interpretation:

Mineral identification and interpretation involves matching the diffraction pattern of an unknown material to patterns of single-phase reference materials. The reference patterns are compiled by the Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Center for Diffraction Data (JCPDS-ICDD) database and released on software as Powder Diffraction Files (PDF).

Interpretations do not reflect the presence of non-crystalline and/or amorphous compounds, except when internal standards have been added by request. Mineral proportions may be strongly influenced by crystallinity, crystal structure and preferred orientations. Mineral or compound identification and quantitative analysis results should be accompanied by supporting chemical assay data or other additional tests.

Quantitative Rietveld Analysis:

Quantitative Rietveld Analysis is performed by using Topas 4.2 (Bruker AXS), a graphics based profile analysis program built around a non-linear least squares fitting system, to determine the amount of different phases present in a multicomponent sample. Whole pattern analyses are predicated by the fact that the X-ray diffraction pattern is a total sum of both instrumental and specimen factors. Unlike other peak intensity-based methods, the Rietveld method uses a least squares approach to refine a theoretical line profile until it matches the obtained experimental patterns.

Rietveld refinement is completed with a set of minerals specifically identified for the sample. Zero values indicate that the mineral was included in the refinement calculations, but the calculated concentration was less than 0.05wt%. Minerals not identified by the analyst are not included in refinement calculations for specific samples and are indicated with a dash.

DISCLAIMER: This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

WARNING: The sample(s) to which the findings recorded herein (the "Findings") relate was(were) drawn and / or provided by the Client or by a third party acting at the Client's direction. The Findings constitute no warranty of the sample's representativeness of any goods and strictly relate to the sample(s). The Company accepts no liability with regard to the origin or source from which the sample(s) is/are said to be extracted.

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	98DN-072-AMP-10-15 FEB4523-49 (wt %)	98DN-072-AMP-60-65 FEB4523-50 (wt %)	98DN-072-AMP-110-115 FEB4523-51 (wt %)	98DN-072-AMP-155-160 FEB4523-52 (wt %)	98DN-073-AMP-10-15 FEB4523-53 (wt %)	98DN-073-AMP-70-75 FEB4523-54 (wt %)	98DN-073-AMP-130-135 FEB4523-55 (wt %)	BL-10-08-AMP-45-50 FEB4523-56 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	4.3	0.3	3.5	3.7	4.0	4.3	3.2	4.5
Cristobalite	0.5	2.6	1.7	1.4	1.2	1.4	1.3	1.2
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	15.6	50.6	23.1	16.0	17.7	11.9	14.6	14.3
Potassium-feldspar	3.1	4.3	1.8	1.2	1.9	1.0	1.6	1.5
Amphibole	37.3	4.0	48.5	40.8	59.1	34.3	41.7	44.0
Pyroxene	1.3	14.1	2.8	2.4	2.1	2.2	1.9	0.9
Biotite	3.3	2.1	3.6	4.3	5.5	4.3	4.5	4.2
Muscovite	-	2.0	-	-	-	-	-	-
Hematite	1.7	1.3	-	-	-	-	-	-
Magnetite	0.7	1.4	0.0	0.2	1.2	0.8	1.2	0.7
Ilmenite	2.1	3.5	4.5	4.2	4.3	2.1	3.9	4.4
Forsterite	-	12.2	-	-	-	-	-	-
Pyrite	-	0.0	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	-	-	0.5	0.0	-	-	-	-
Sodalite	-	-	1.5	1.0	1.8	-	1.7	-
Epidote	-	-	-	-	-	6.3	-	-
Almandine	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	30.2	1.6	8.5	24.7	1.2	31.4	24.5	24.2
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

1 - Zero values indicate that the mineral was included in the refinement, but the calculated concentration is below a measurable value. Dashes indicate that the mineral was not identifed by the analyst and not included in the refinement calculation for the sample.

2 - Si02 (alpha quartz) determination is made by semi-quantitative X-ray diffraction analysis using the standard addition procedure; for the sample containing high amounts of alpha quartz (>80%), the determination is made by Rietveld refinement method directly. Accuracy is +/- 10% relative to the reported value; the detection limit is 0.1%.

3 - SiO2 (cristobalite and tridymite), the determination is made by Rietveld quantitative X-ray diffraction analysis using the alpha quartz determined above as known value.

4 - The weight percent quantities indicated have been normalized to a sum of 100%.

Mineral/Compound	Formula
Quartz	SiO_2
Cristobalite	SiO_2
Tridymite	SiO_2
Plagioclase	$(NaSi,CaAl)AlSi_2O_8$
Potassium-feldspar	$KAlSi_3O_8$
Amphibole	$(Na,K)Ca_2(Fe,Mg)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$
Pyroxene	$(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$
Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Biotite	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Muscovite	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Hematite	Fe_2O_3
Ilmenite	$FeTiO_3$
Magnetite	Fe_3O_4
Forsterite	Mg_2SiO_4
Pyrite	FeS_2
Calcite	$CaCO_3$
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$
Sodalite	$Na_8(AlSiO_4)_6Cl_2$
Epidote	$Ca_2(Al,Fe)Al_2O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$
Almandine	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-10-08-AMP-85-90	BL-10-08-AMP-140-145	BL-10-14-AMP-50-55	BL-10-14-AMP-80-85	BL-10-14-AMP-115-120	BL-10-15-WSIF-185-198	BL-10-15-QR-205-210	BL-10-15-GN-230-235
	FEB4523-57	FEB4523-58	FEB4523-59	FEB4523-60	FEB4523-61	FEB4523-62	FEB4523-63	FEB4523-64
	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	2.5	7.1	2.7	2.6	7.2	76.0	94.1	44.4
Cristobalite	1.8	1.5	1.9	2.1	1.4	0.4	0.0	0.3
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
Other Minerals								
Plagioclase	14.9	10.5	21.8	14.3	15.8	0.0	0.0	2.8
Potassium-feldspar	5.3	1.8	3.2	3.1	2.2	0.0	0.0	1.9
Amphibole	59.6	49.0	52.5	54.6	53.0	13.4	3.8	0.9
Pyroxene	1.6	0.9	2.0	2.2	2.5	-	-	-
Biotite	4.0	7.8	4.4	4.0	6.4	-	-	0.0
Muscovite	-	-	-	-	-	-	-	28.8
Hematite	-	-	-	-	-	9.7	0.0	-
Magnetite	0.4	0.8	0.7	0.2	0.6	-	-	-
Ilmenite	3.5	5.8	3.1	4.1	7.2	-	-	-
Forsterite	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrite	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	0.3
Dolomite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidote	4.7	1.7	4.6	4.4	1.8	-	-	-
Almandine	-	-	-	-	-	-	-	9.1
Amorphous Content	1.6	13.0	3.1	8.3	1.9	0.4	2.0	11.4
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

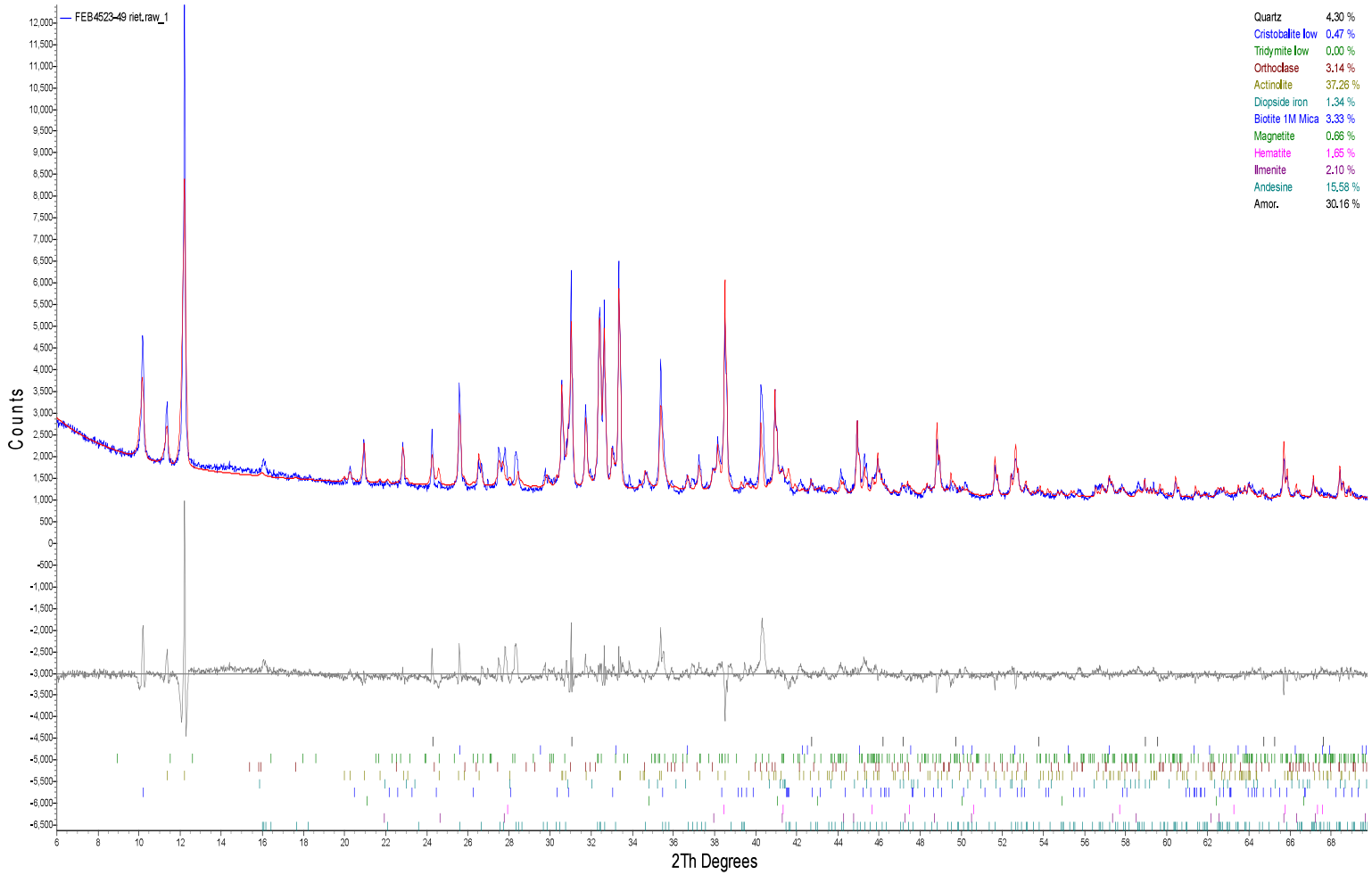
Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

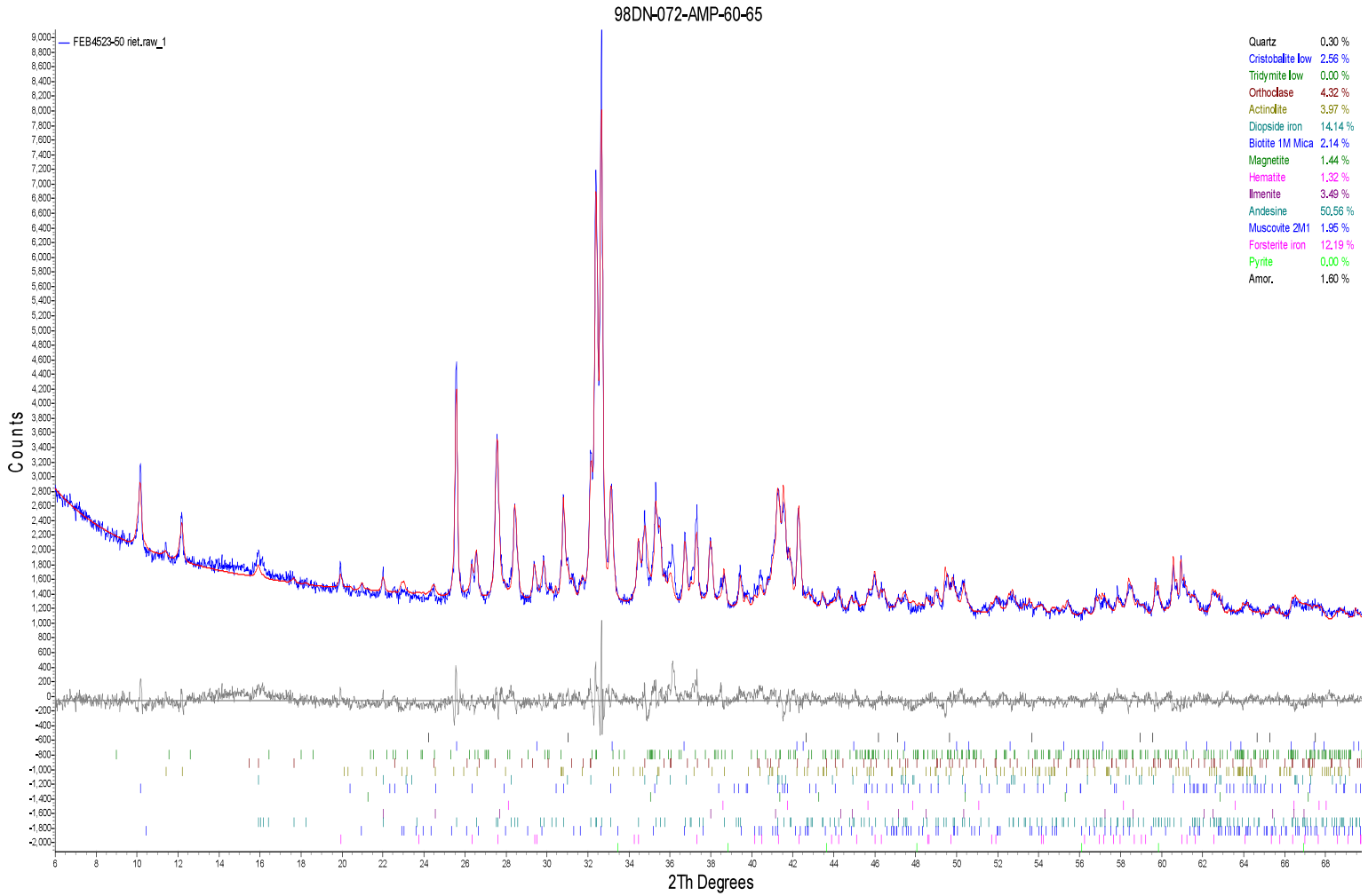
Mineral/Compound	BL-10-15-QR-255-260 FEB4523-65 (wt %)	BL-10-20-AMP-35-40 FEB4523-66 (wt %)	BL-10-20-AMP-70-75 FEB4523-67 (wt %)	BL-10-20-GN-155-160 FEB4523-68 (wt %)	BL-10-22-AMP-36-41 FEB4523-69 (wt %)	BL-10-22-GN-59-64 FEB4523-70 (wt %)	BL-10-22-QR-67-72 FEB4523-71 (wt %)	BL-10-26-MS-127-132 FEB4523-72 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	85.4	3.1	10.4	45.2	7.7	27.8	91.6	35.2
Cristobalite	0.0	1.3	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	0.0	16.3	16.0	1.9	20.9	2.9	1.3	1.1
Potassium-feldspar	0.0	2.5	4.4	3.2	1.5	29.4	2.9	1.3
Amphibole	6.1	48.7	52.2	5.6	44.3	1.5	0.0	0.0
Pyroxene	-	1.5	0.0	-	2.1	-	-	-
Biotite	1.0	2.5	6.5	4.0	9.1	3.0	2.4	0.3
Muscovite	-	-	-	27.0	-	16.3	0.5	35.0
Hematite	0.2	-	-	-	0.6	-	-	-
Magnetite	2.0	0.0	1.4	-	0.4	-	-	-
Ilmenite	-	3.4	5.1	-	6.4	-	-	-
Forsterite	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrite	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	4.2	-	-	0.7	-	0.5	1.2	0.3
Dolomite	-	0.0	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	1.1	-	-	-	-	-	-
Epidote	-	-	-	-	-	-	-	-
Almandine	0.8	5.2	-	2.6	-	-	-	-
Amorphous Content	0.2	14.4	3.9	9.8	6.0	18.6	0.1	26.7
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

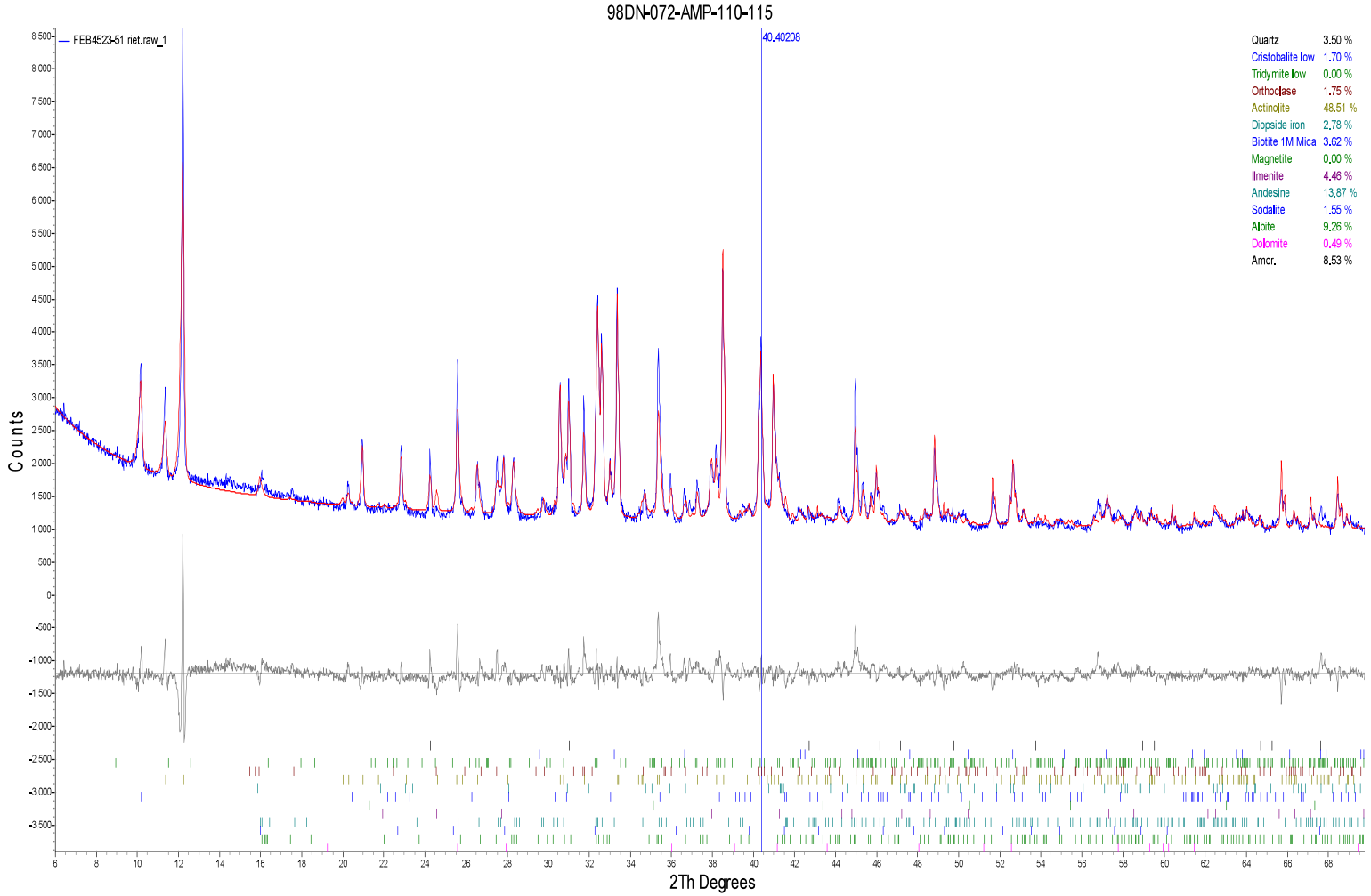
Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

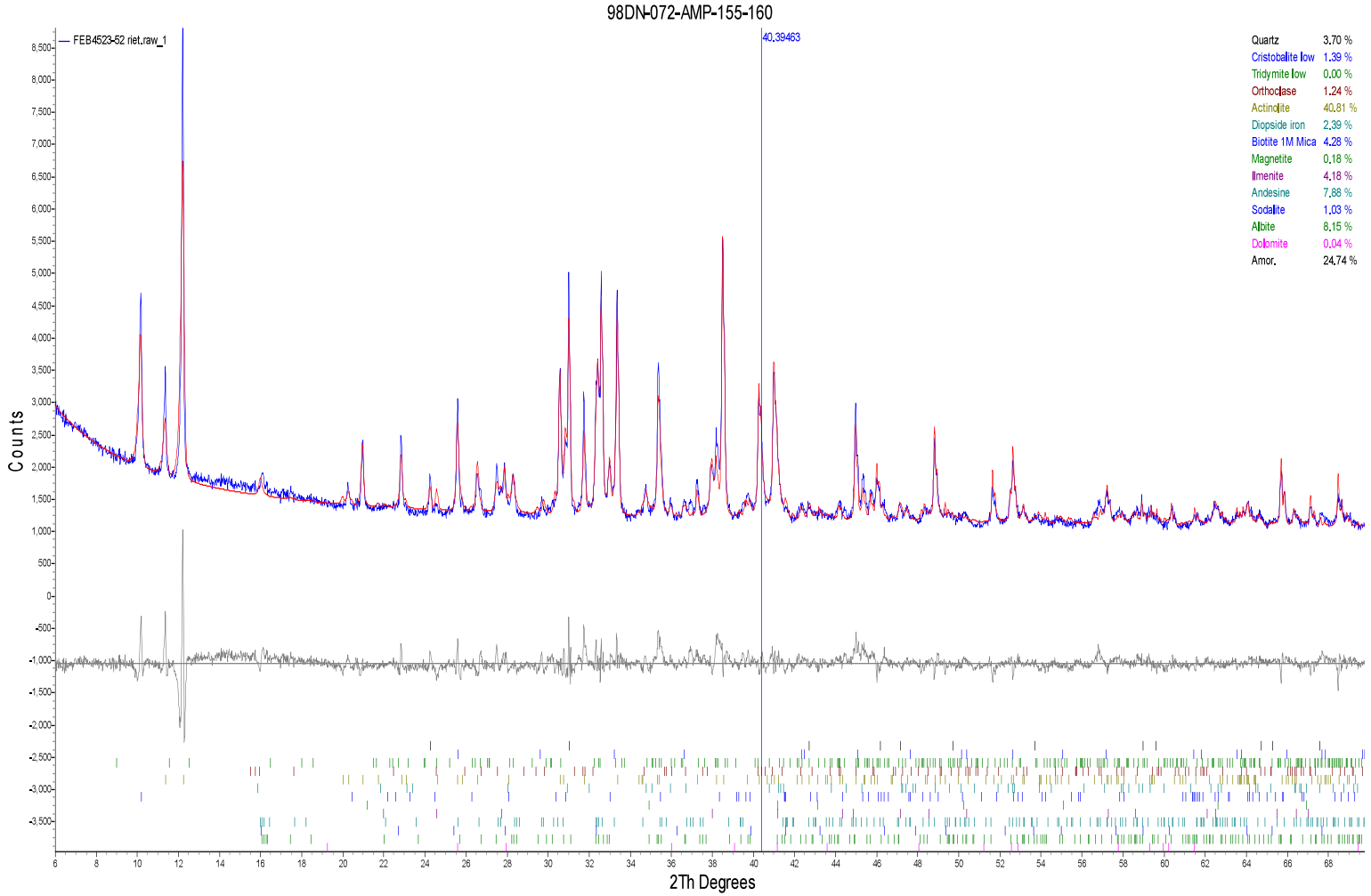
Mineral/Compound	BL-10-26-GN-135-140 FEB4523-73 (wt %)	BL-10-28-AMP-95-100 FEB4523-74 (wt %)	BL-10-28-AMP-155-160 FEB4523-75 (wt %)	BL-10-28-QR-230-235 FEB4523-76 (wt %)	BL-10-28-MS-265-270 FEB4523-77 (wt %)	BL-10-28-QR-290-295 FEB4523-78 (wt %)	BL-10-30-QRIF-53-61 FEB4523-79 (wt %)	BL-10-30-QR-71-76 FEB4523-80 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	31.4	3.7	1.5	90.6	49.2	91.5	74.0	93.0
Cristobalite	0.0	1.4	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2
Other Minerals								-
Plagioclase	15.1	17.1	20.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0
Potassium-feldspar	24.5	0.0	1.5	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0
Amphibole	0.6	54.0	50.8	0.0	1.5	4.4	0.0	0.0
Pyroxene	-	6.2	2.2	-	-	-	-	-
Biotite	4.4	4.3	4.6	-	1.6	1.0	-	-
Muscovite	13.7	-	-	-	30.4	0.7	-	-
Hematite	-	-	-	6.4	-	-	15.6	5.1
Magnetite	-	0.0	0.7	2.5	-	1.6	9.9	0.9
Ilmenite	-	3.0	6.4	-	-	-	-	-
Forsterite	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrite	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	0.8	-	0.8	0.1	0.1	-	-	-
Dolomite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidote	-	3.7	4.3	-	-	-	-	-
Almandine	-	-	6.1	-	8.1	-	-	-
Amorphous Content	9.5	6.6	0.3	0.2	5.5	0.8	0.4	0.8
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

98DN-072-AMP-10-15

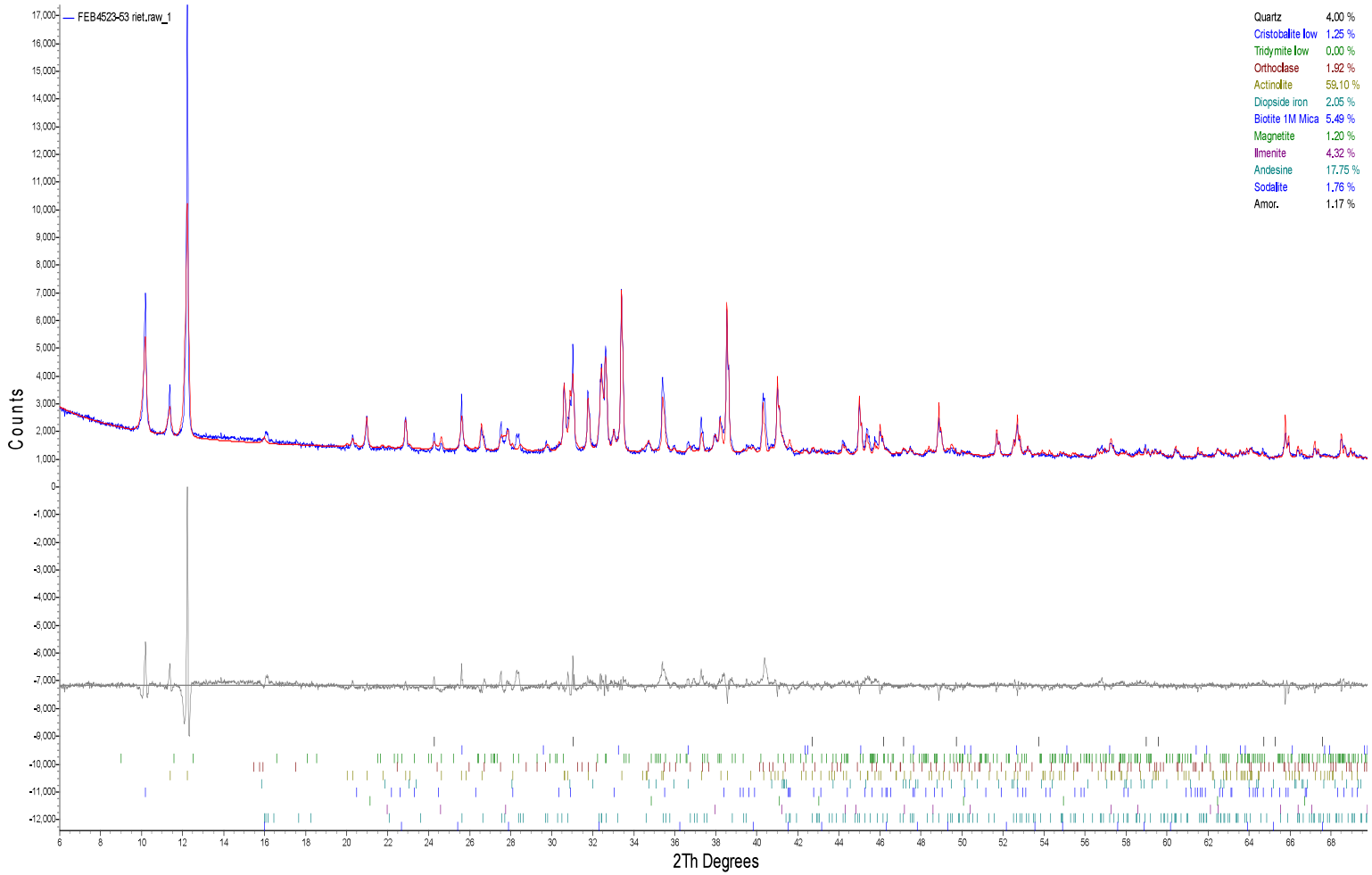



98DN-072-AMP-60-65
FEB4523-50 riet.raw_1
Counts
2Th Degrees
Quartz 0.30 %
Cristobalite low 2.56 %
Tridymite low 0.00 %
Orthoclase 4.32 %
Actinolite 3.97 %
Diopside iron 14.14 %
Biotite 1M Mica 2.14 %
Magnetite 1.44 %
Hematite 1.32 %
Ilmenite 3.49 %
Andesine 50.56 %
Muscovite 2M1 1.95 %
Forsterite iron 12.19 %
Pyrite 0.00 %
Amor. 1.60 %

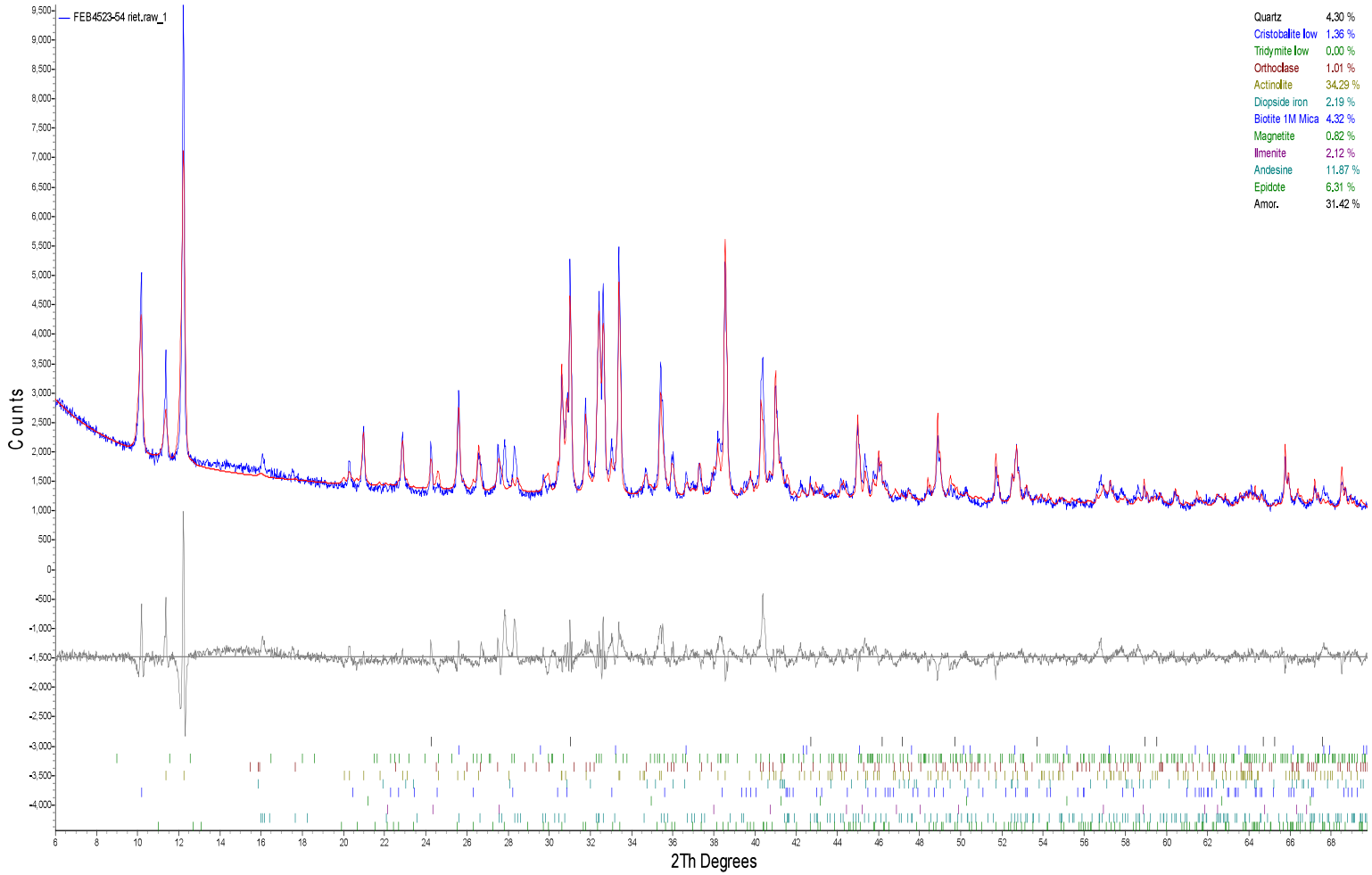

98DN-072-AMP-110-115
FEB4523-51 riet.raw_1
40.40208
Quartz 3.50 %
Cristobalite low 1.70 %
Tridymite low 0.00 %
Orthoclase 1.75 %
Actinolite 48.51 %
Diopside iron 2.78 %
Biotite 1M Mica 3.62 %
Magnetite 0.00 %
Ilmenite 4.46 %
Andesine 13.87 %
Sodalite 1.55 %
Albite 9.26 %
Dolomite 0.49 %
Amor. 8.53 %
Counts
2Th Degrees


98DN-072-AMP-155-160
FEB4523-52 riet.raw_1
40.39463
Quartz 3.70 %
Cristobalite low 1.39 %
Tridymite low 0.00 %
Orthoclase 1.24 %
Actinolite 40.81 %
Diopside iron 2.39 %
Biotite 1M Mica 4.28 %
Magnetite 0.18 %
Ilmenite 4.18 %
Andesine 7.88 %
Sodalite 1.03 %
Albite 8.15 %
Dolomite 0.04 %
Amor. 24.74 %
Counts
2Th Degrees

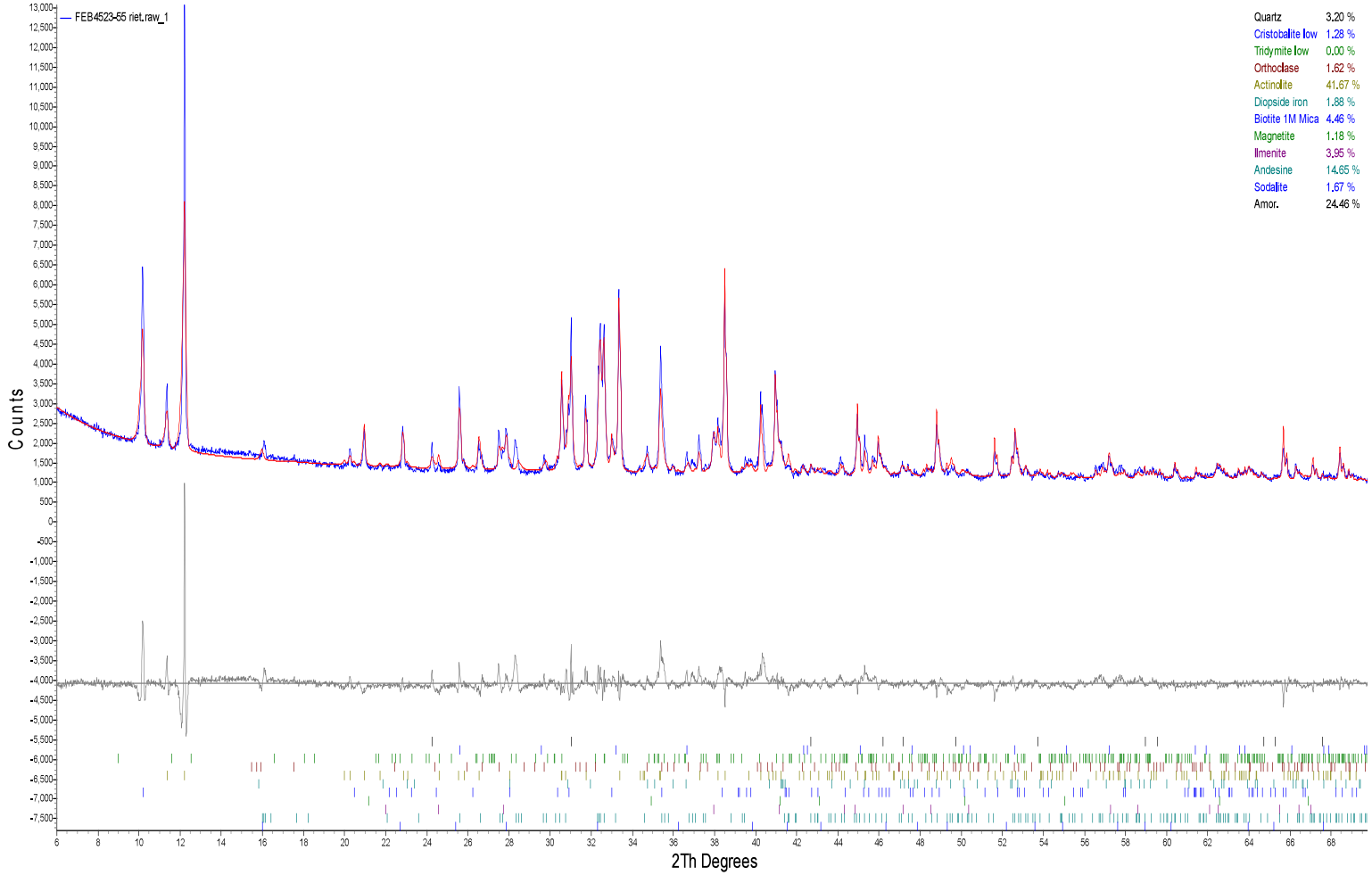
98DN-073-AMP-10-15



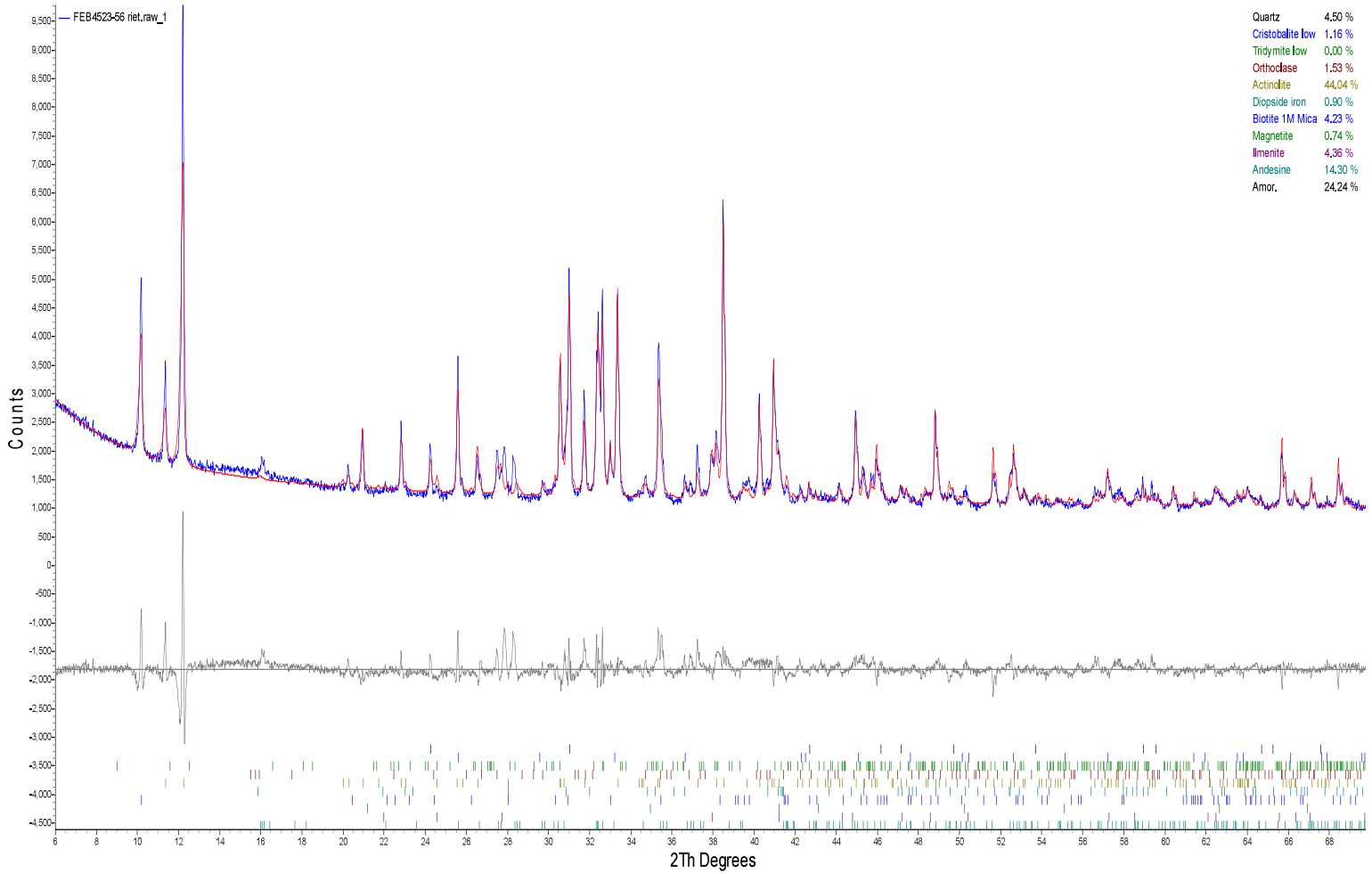
98DN-073-AMP-70-75



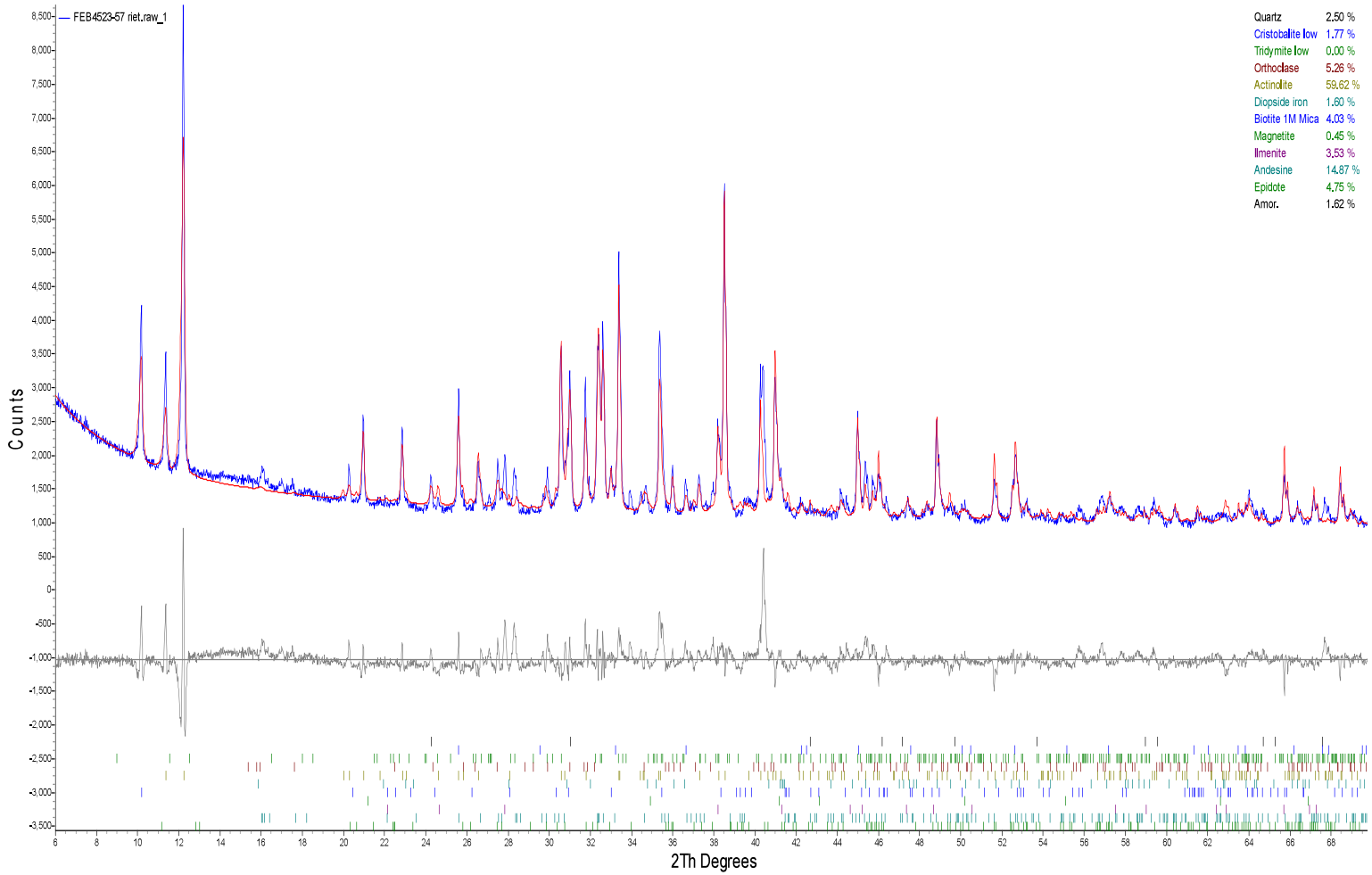
98DN-073-AMP-130-135



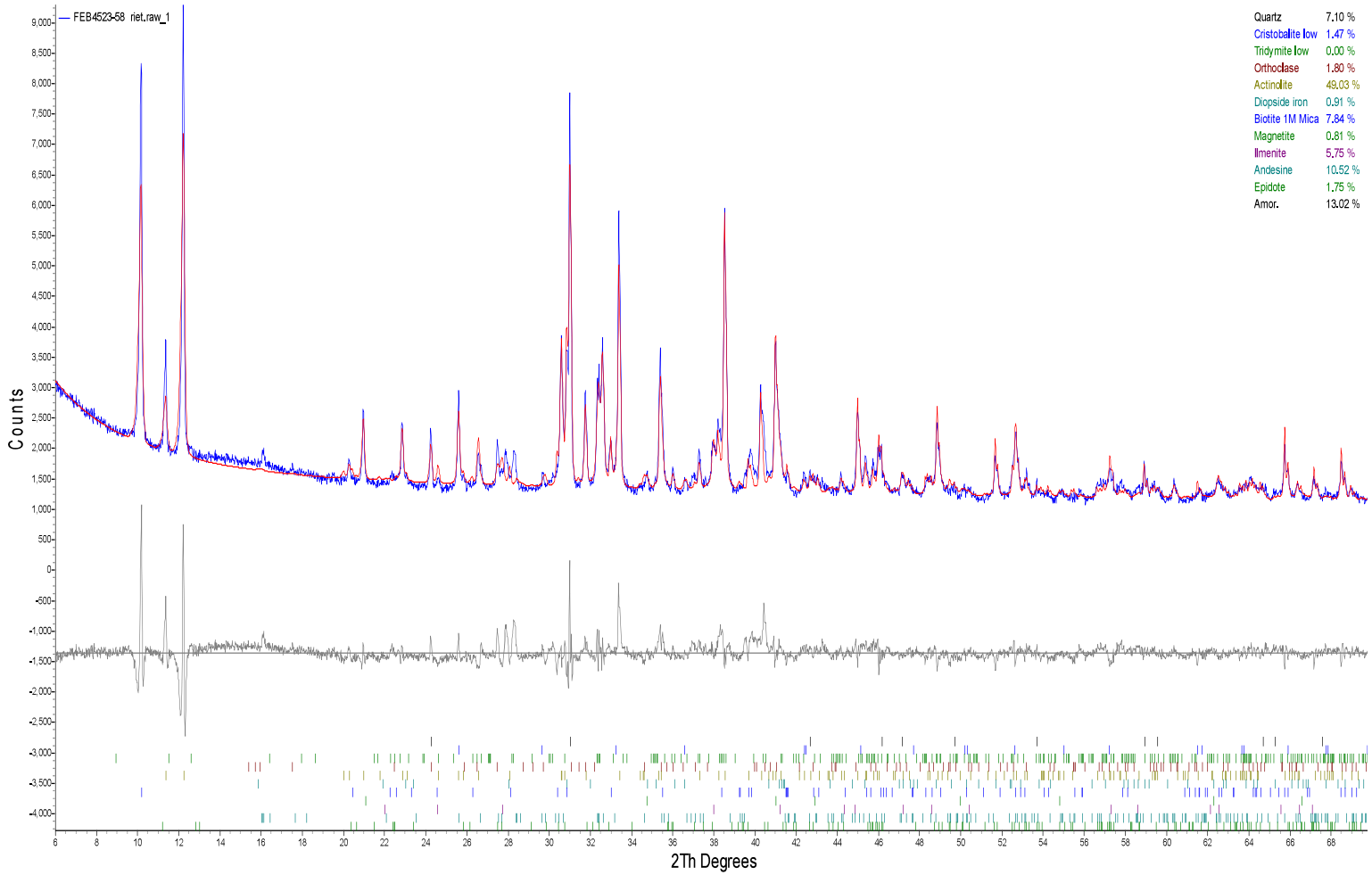
BL-10-08-AMP-45-50



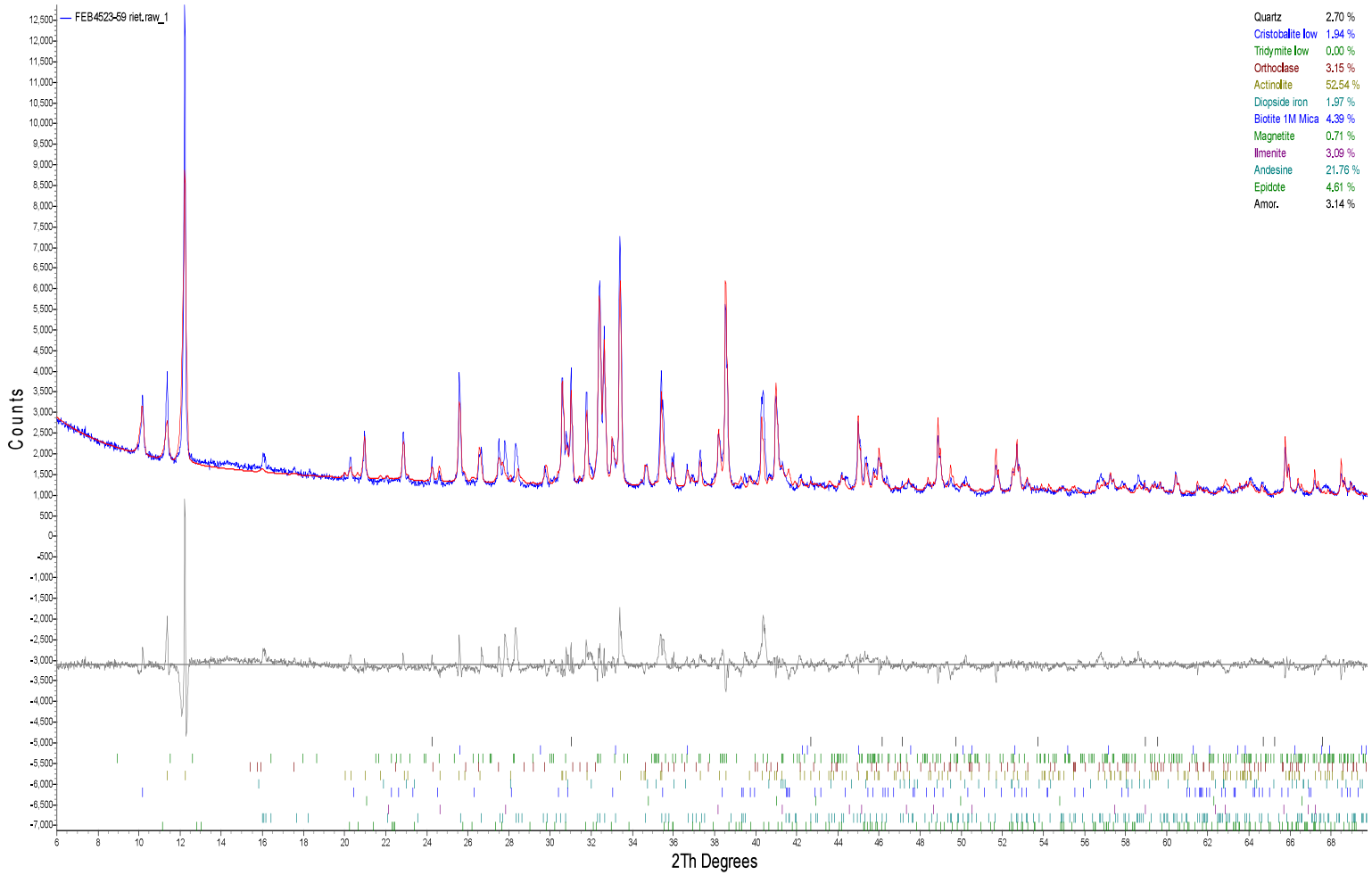
BL-10-08-AMP-85-90



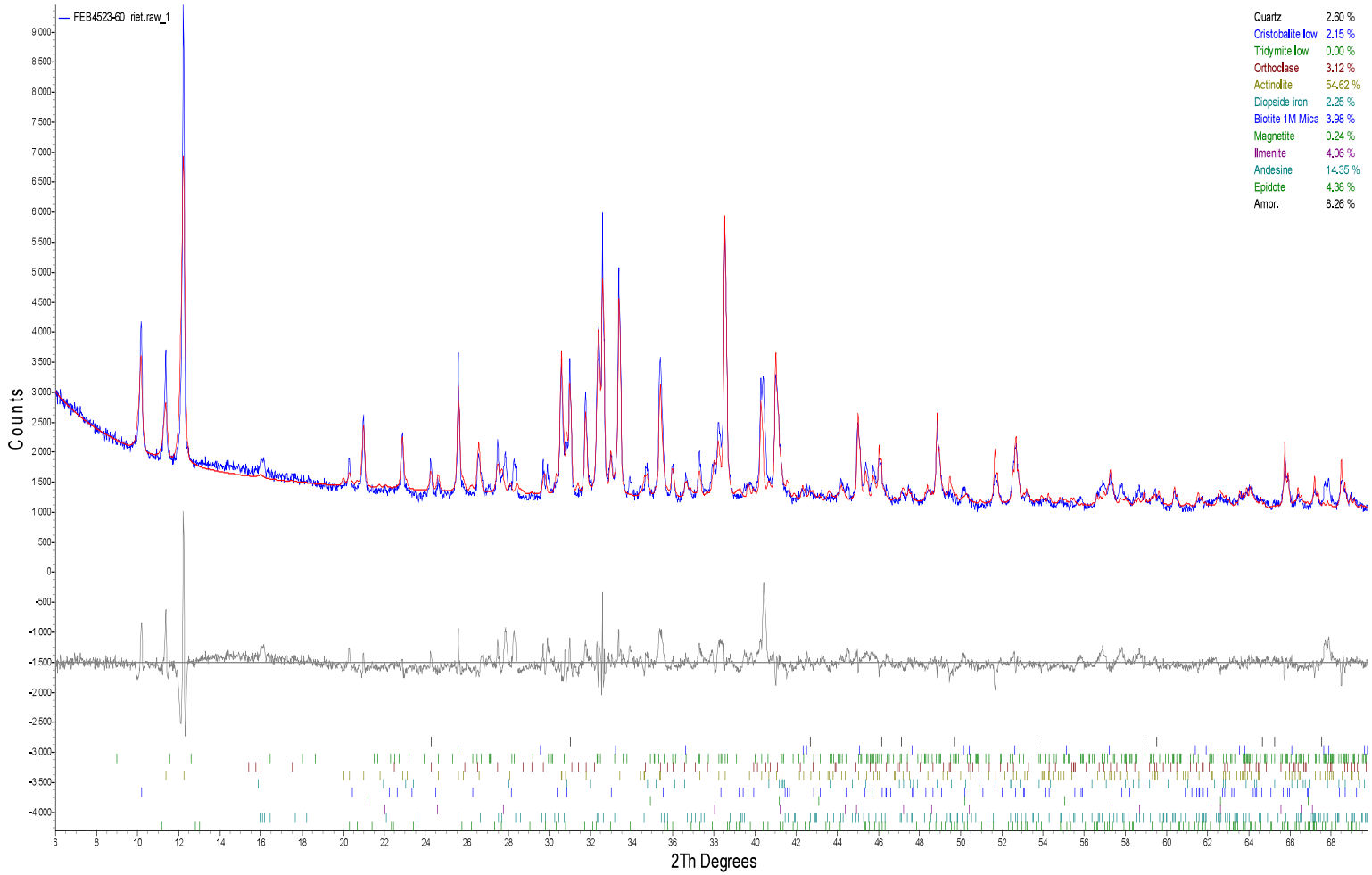
BL-10-08-AMP-140-145



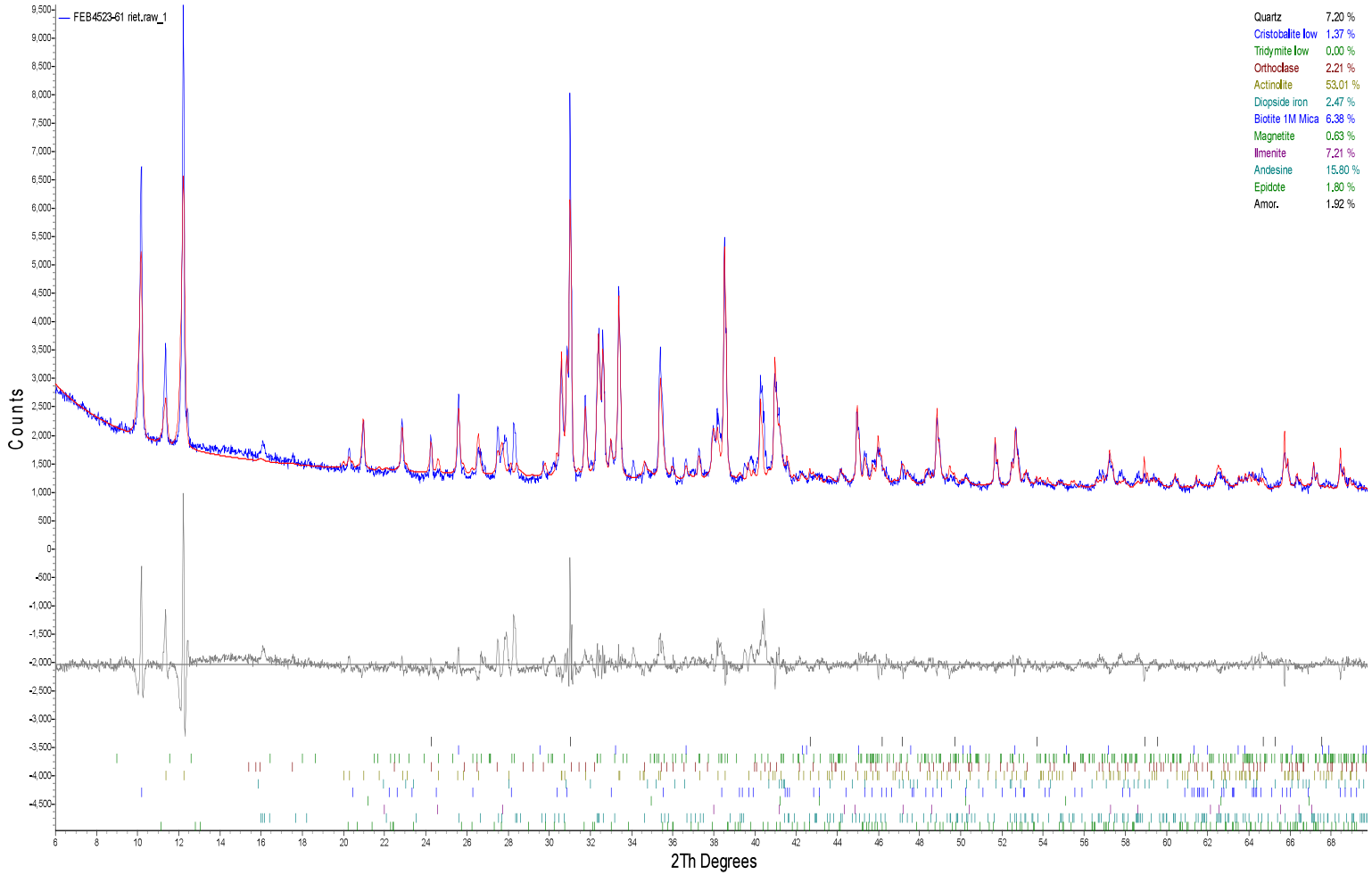
BL-10-14-AMP-50-55



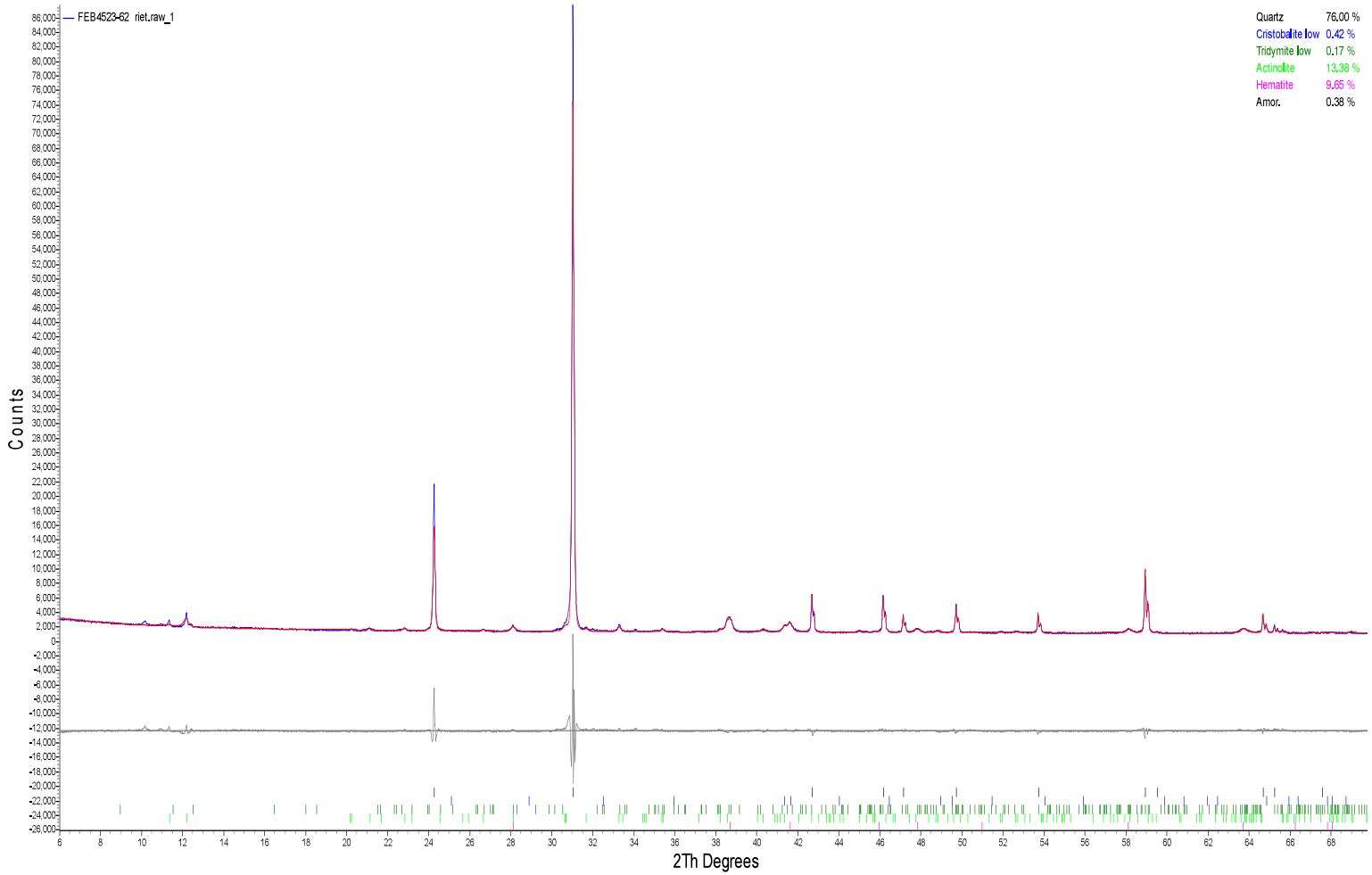
BL-10-14-AMP-80-85



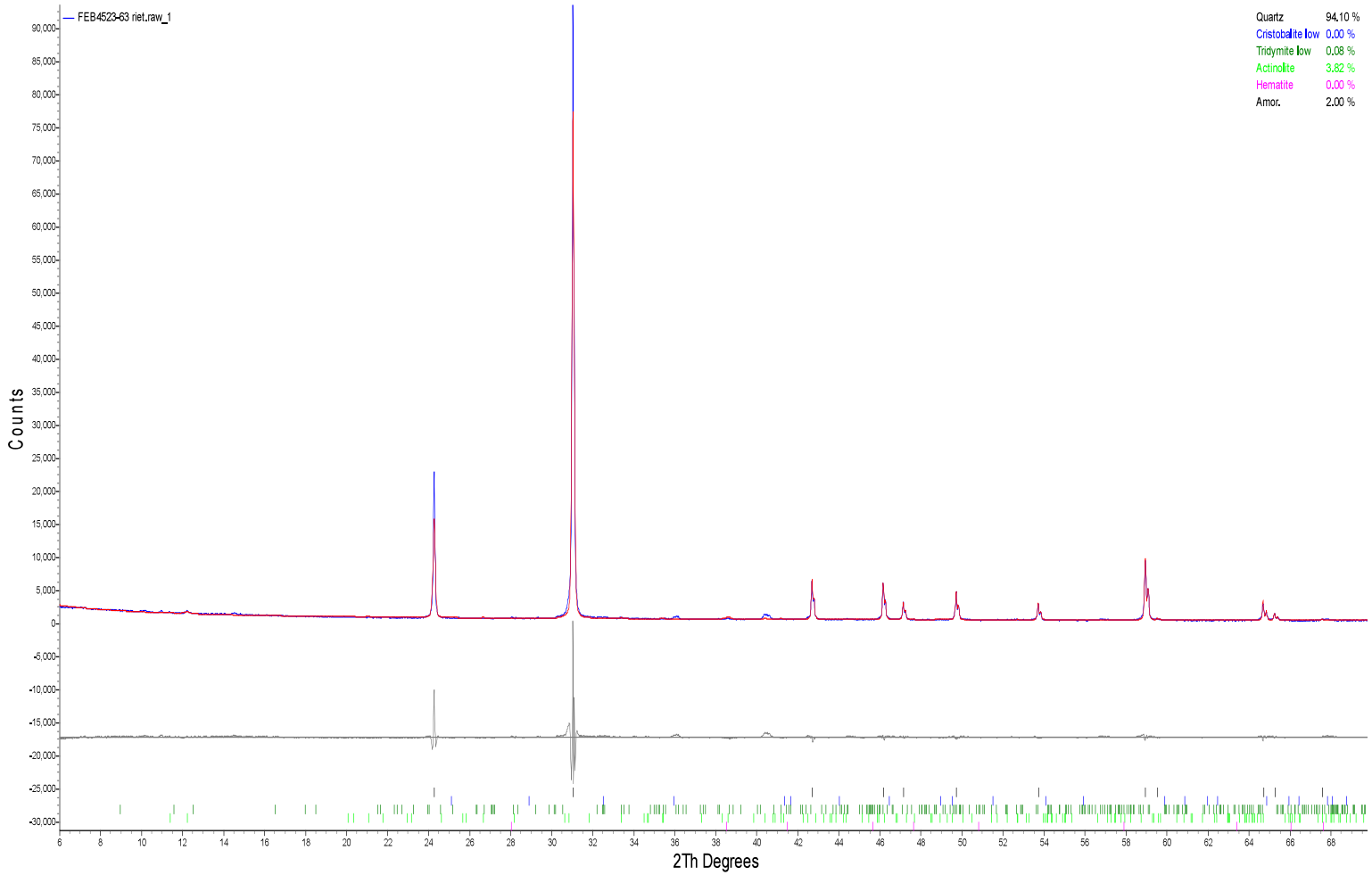
BL-10-14-AMP-115-120



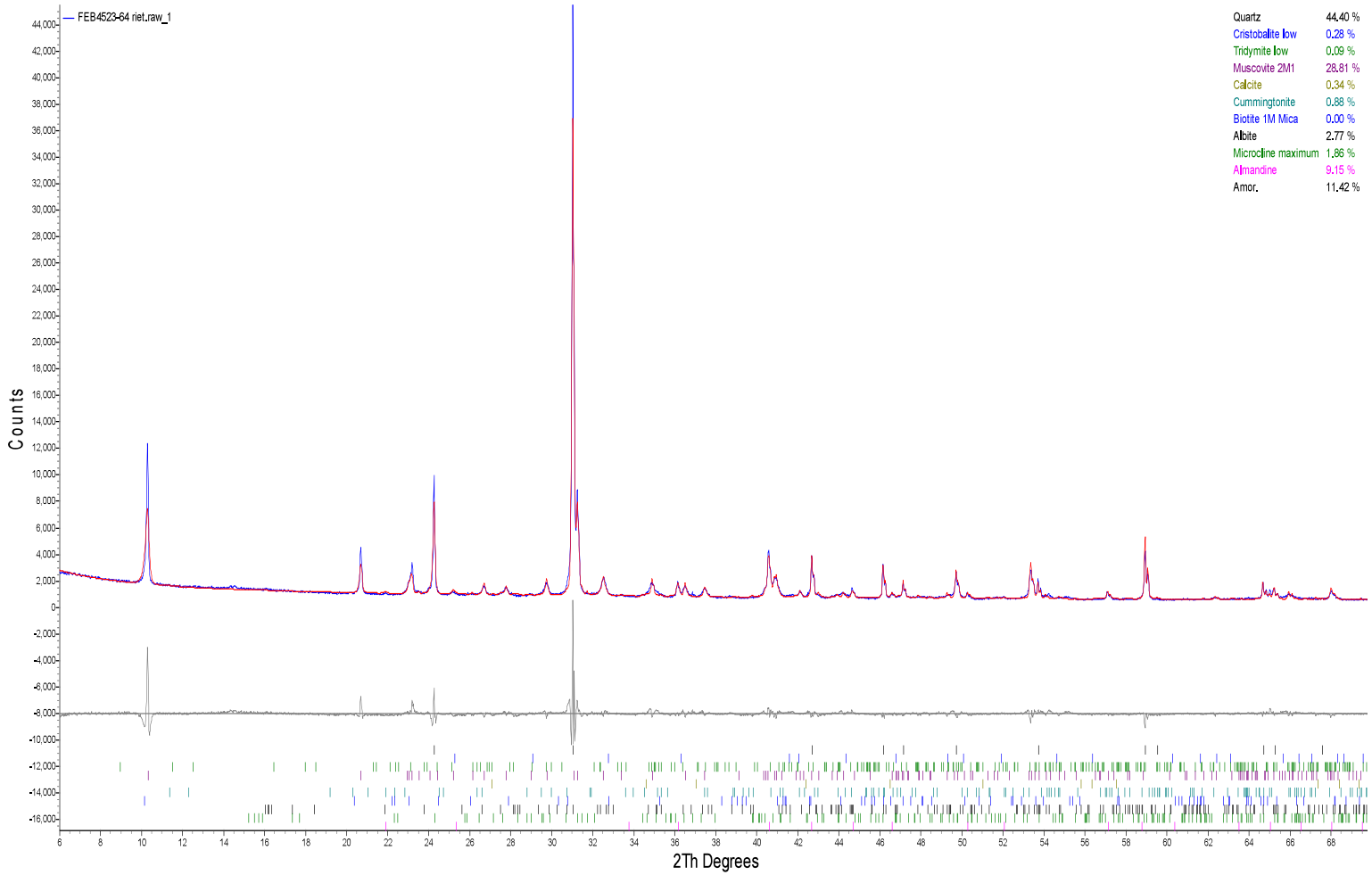
BL-10-15-WSIF-185-198



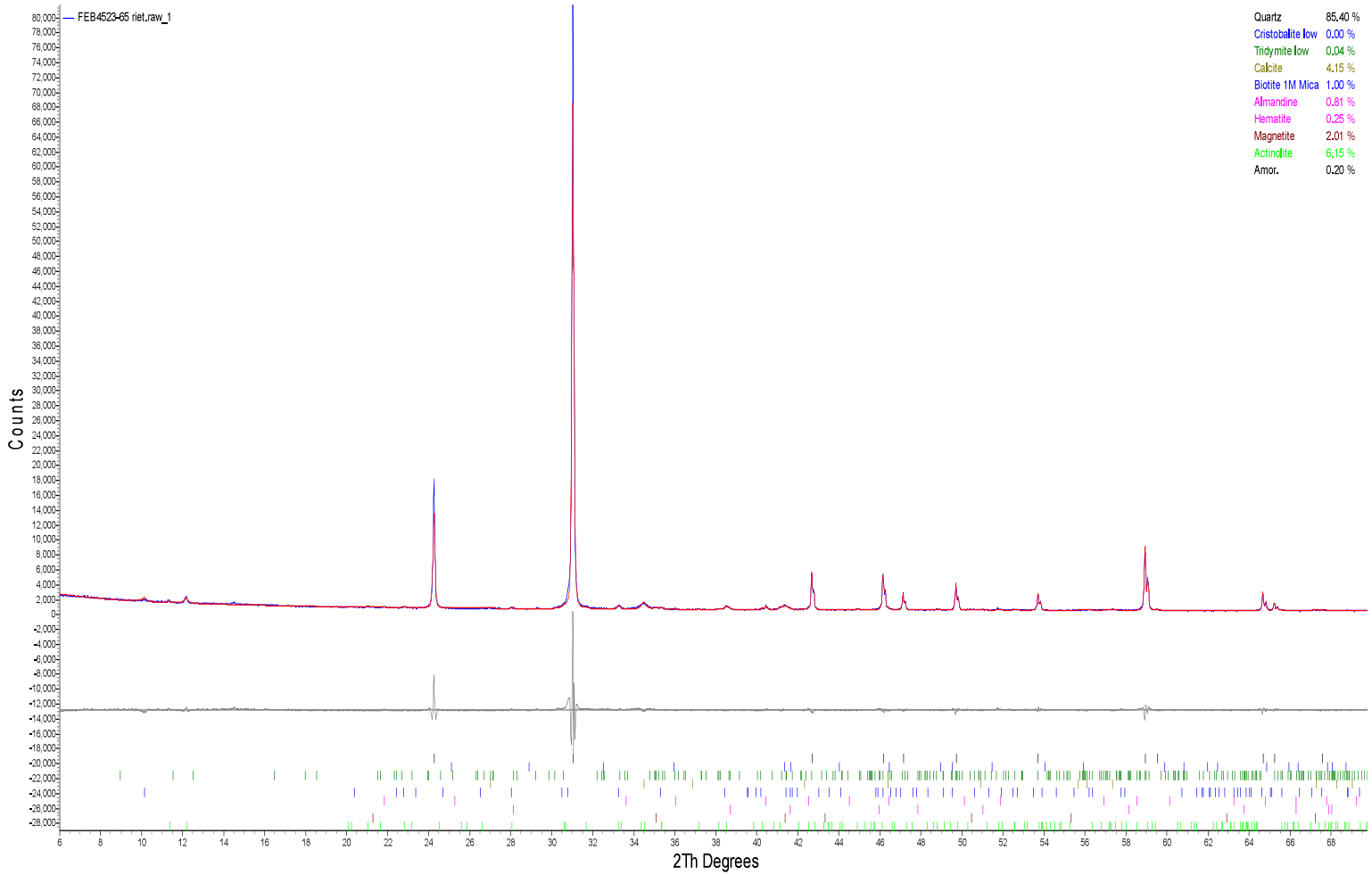
BL-10-15-QR-205-210



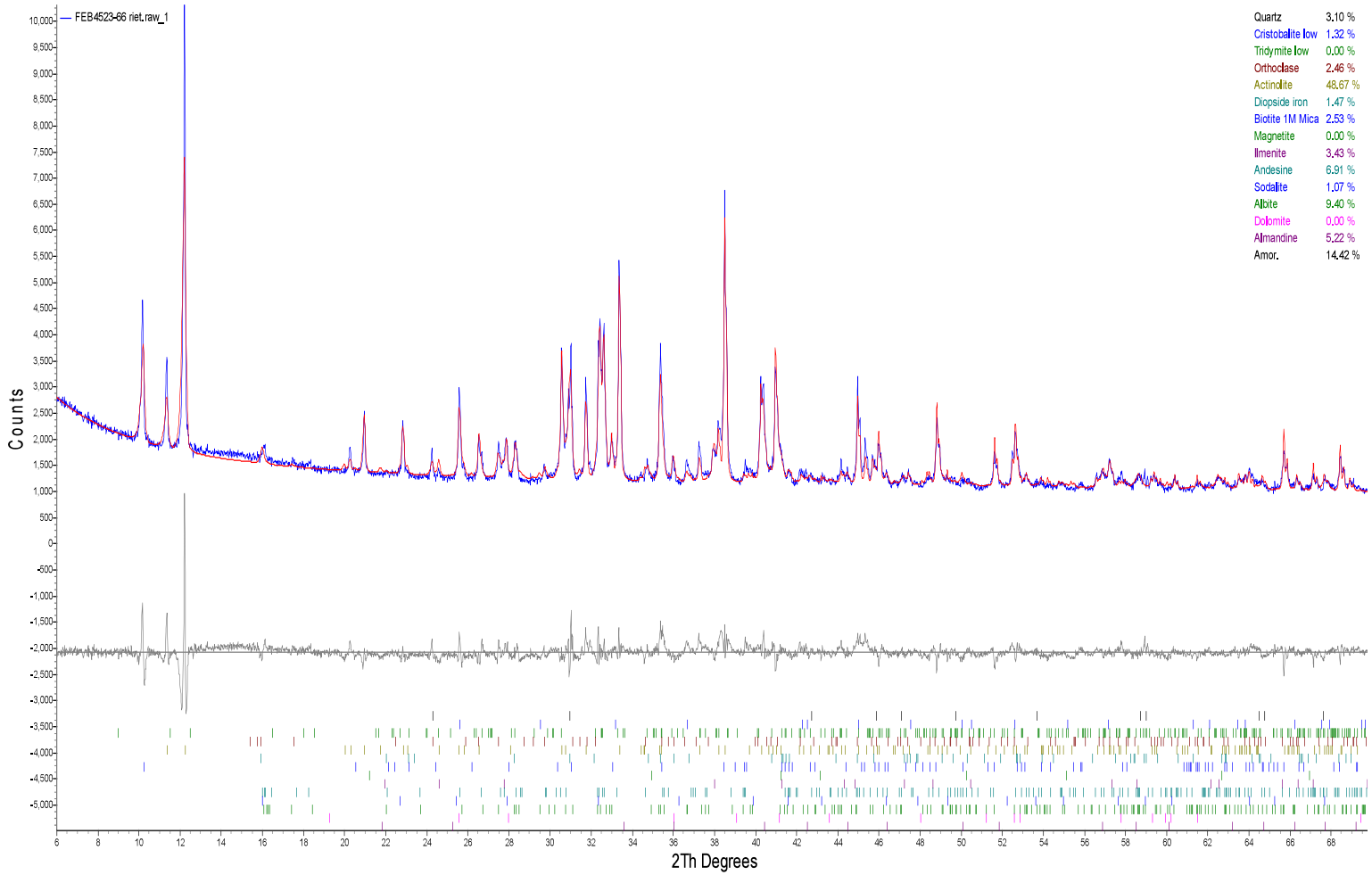
BL-10-15-GN-230-235



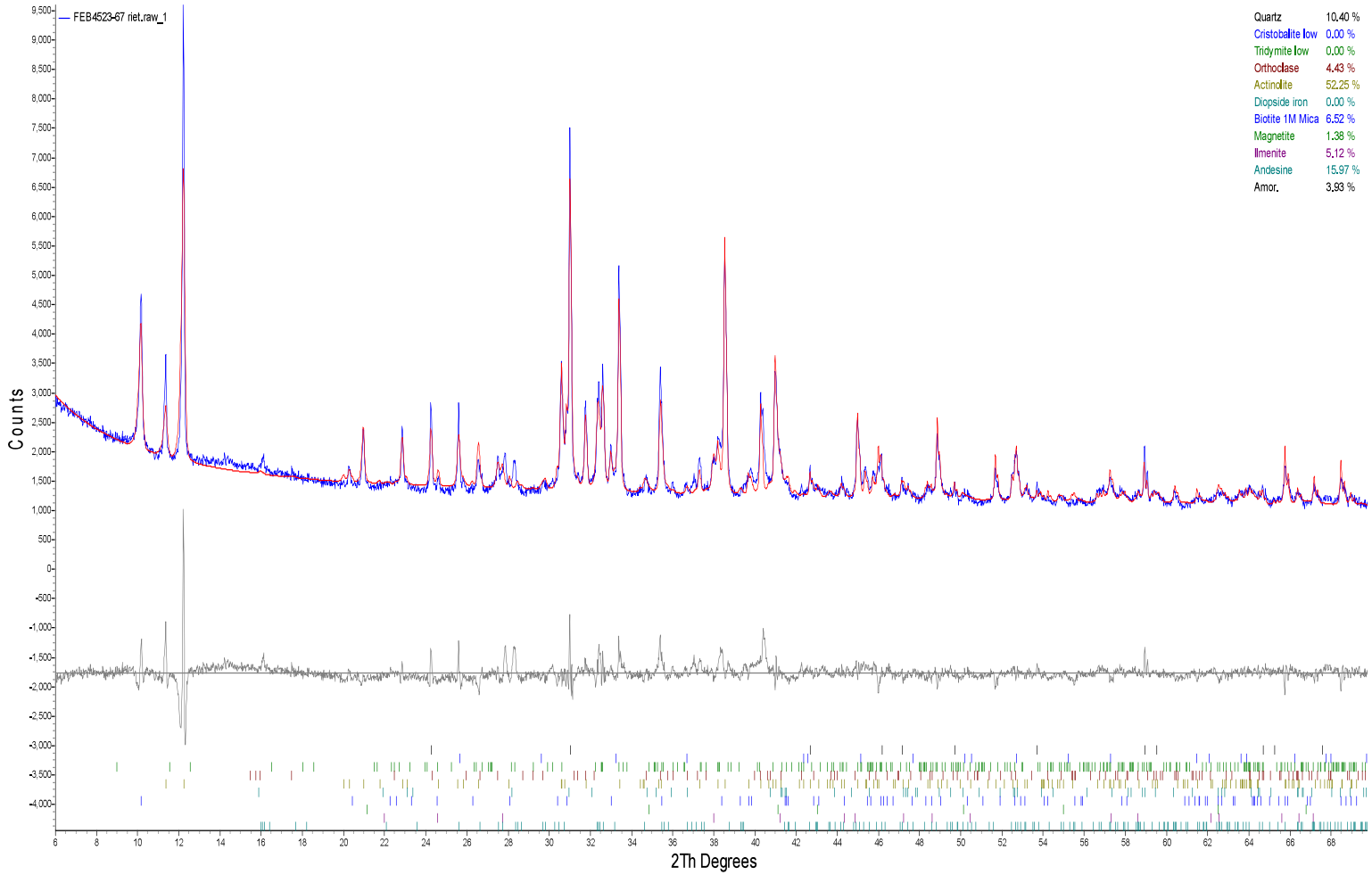
BL-10-15-QR-255-260



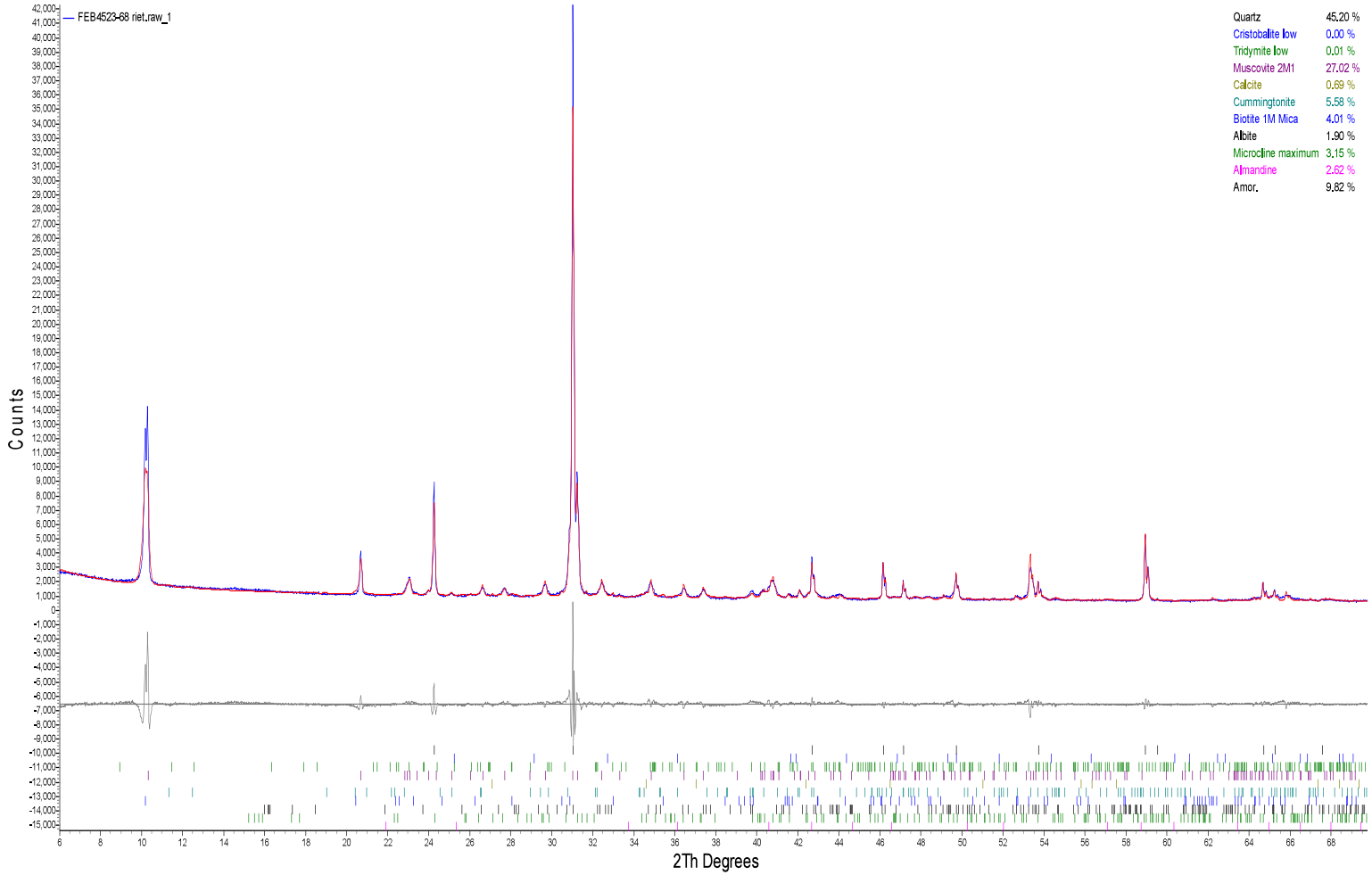
BL-10-20-AMP-35-40



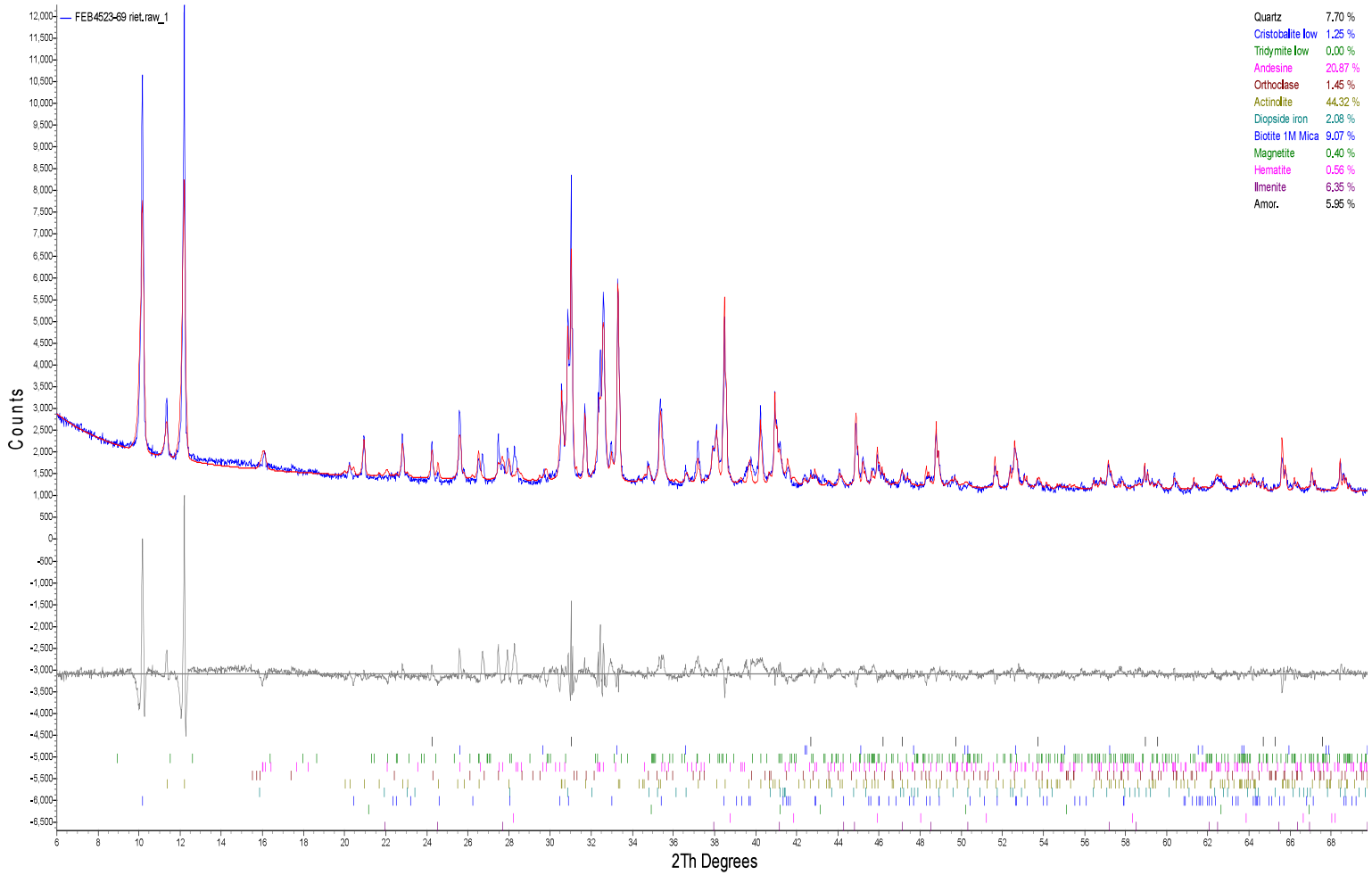
BL-10-20-AMP-70-75



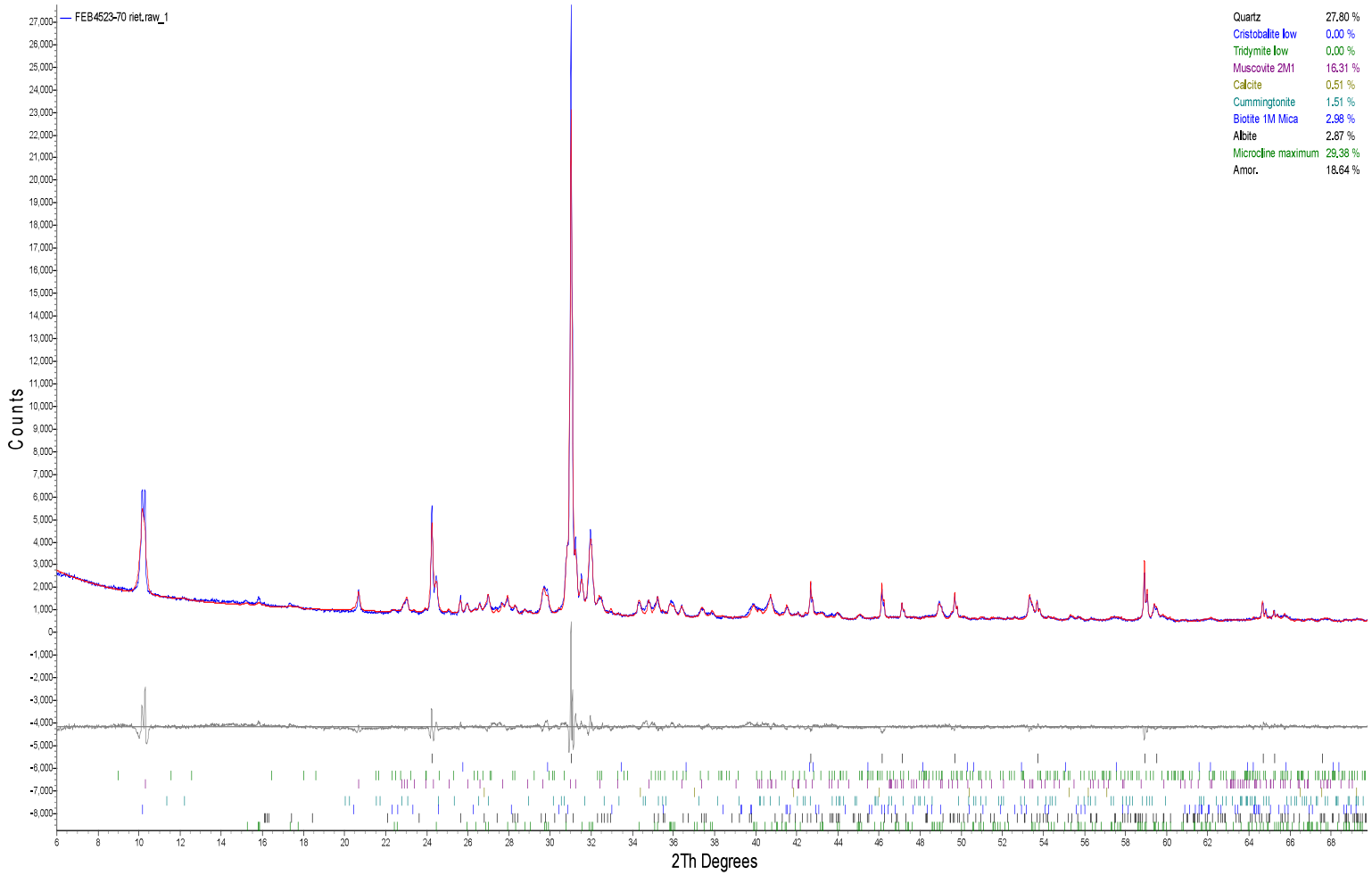
BL-10-20-GN-155-160



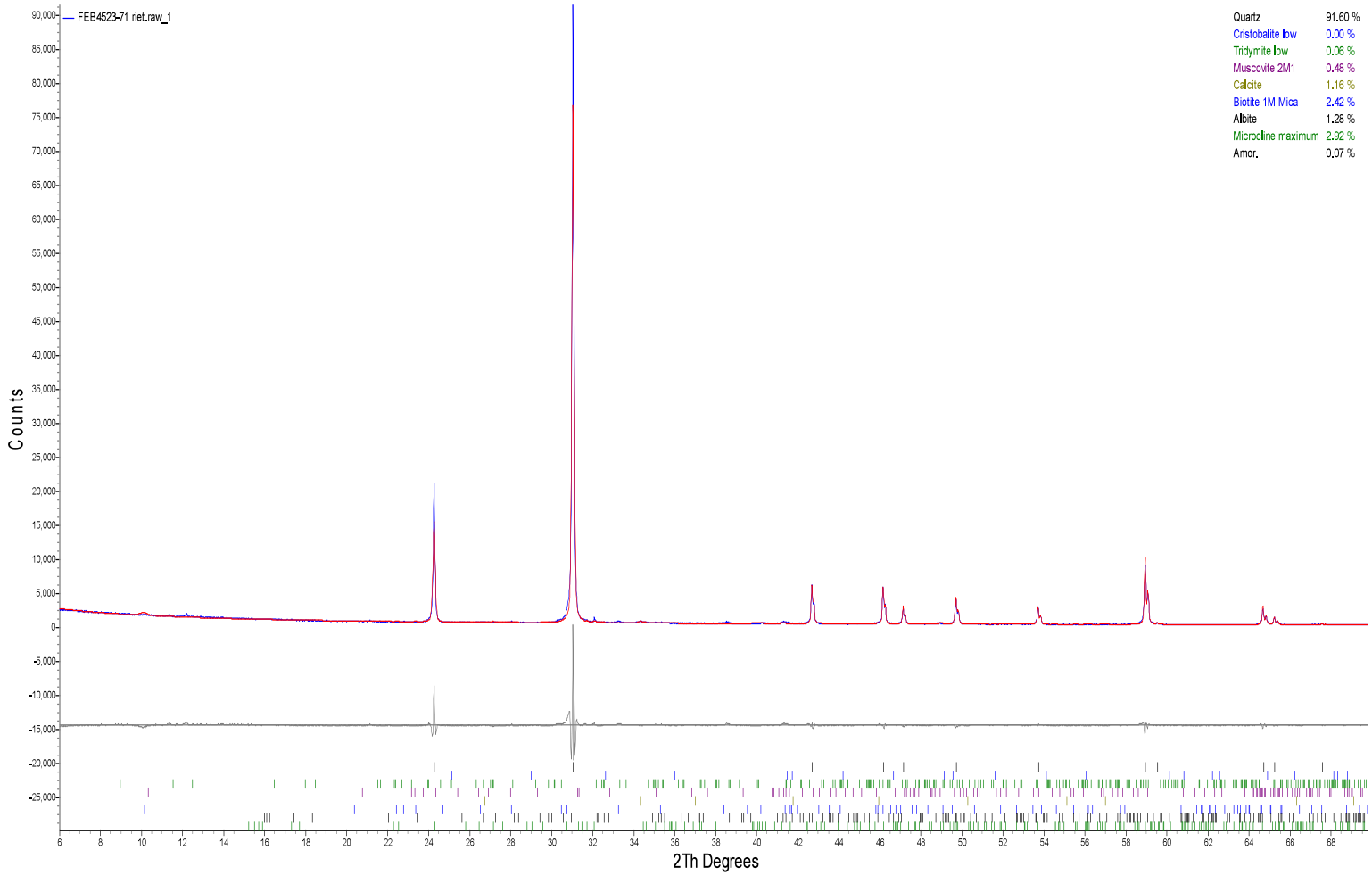
BL-10-22-AMP-36-41



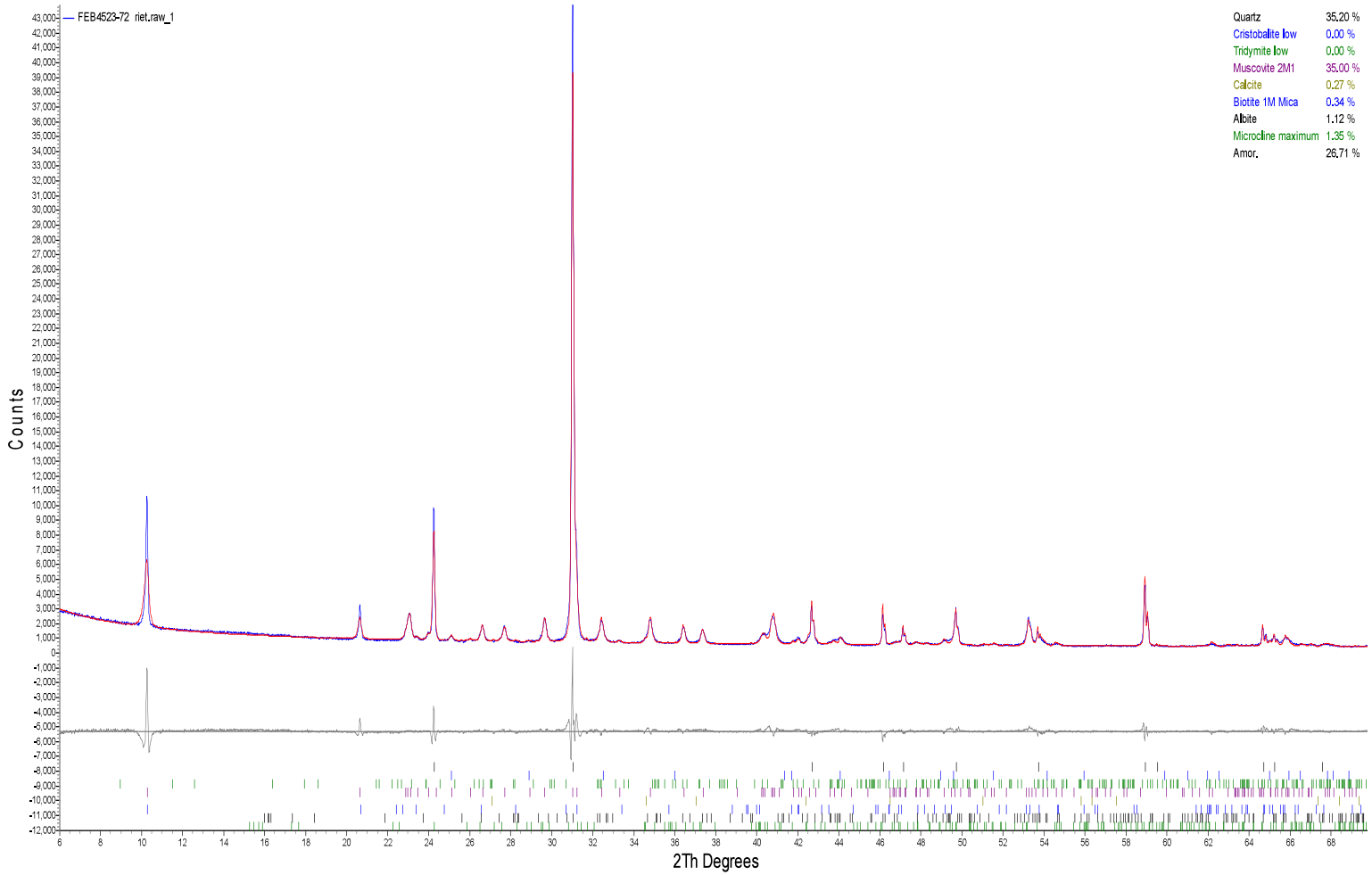
BL-10-22-GN-59-64



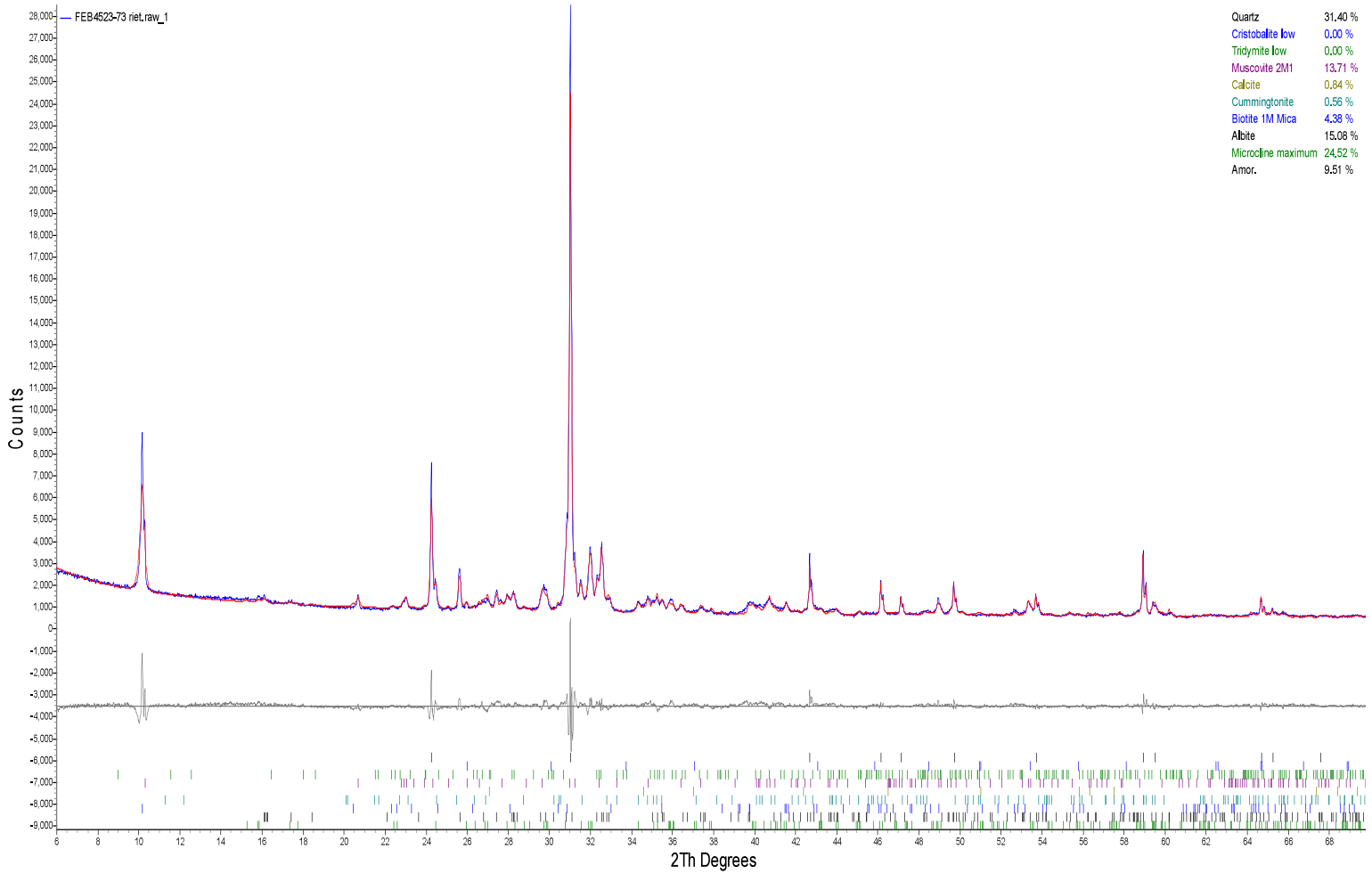
BL-10-22-QR-67-72



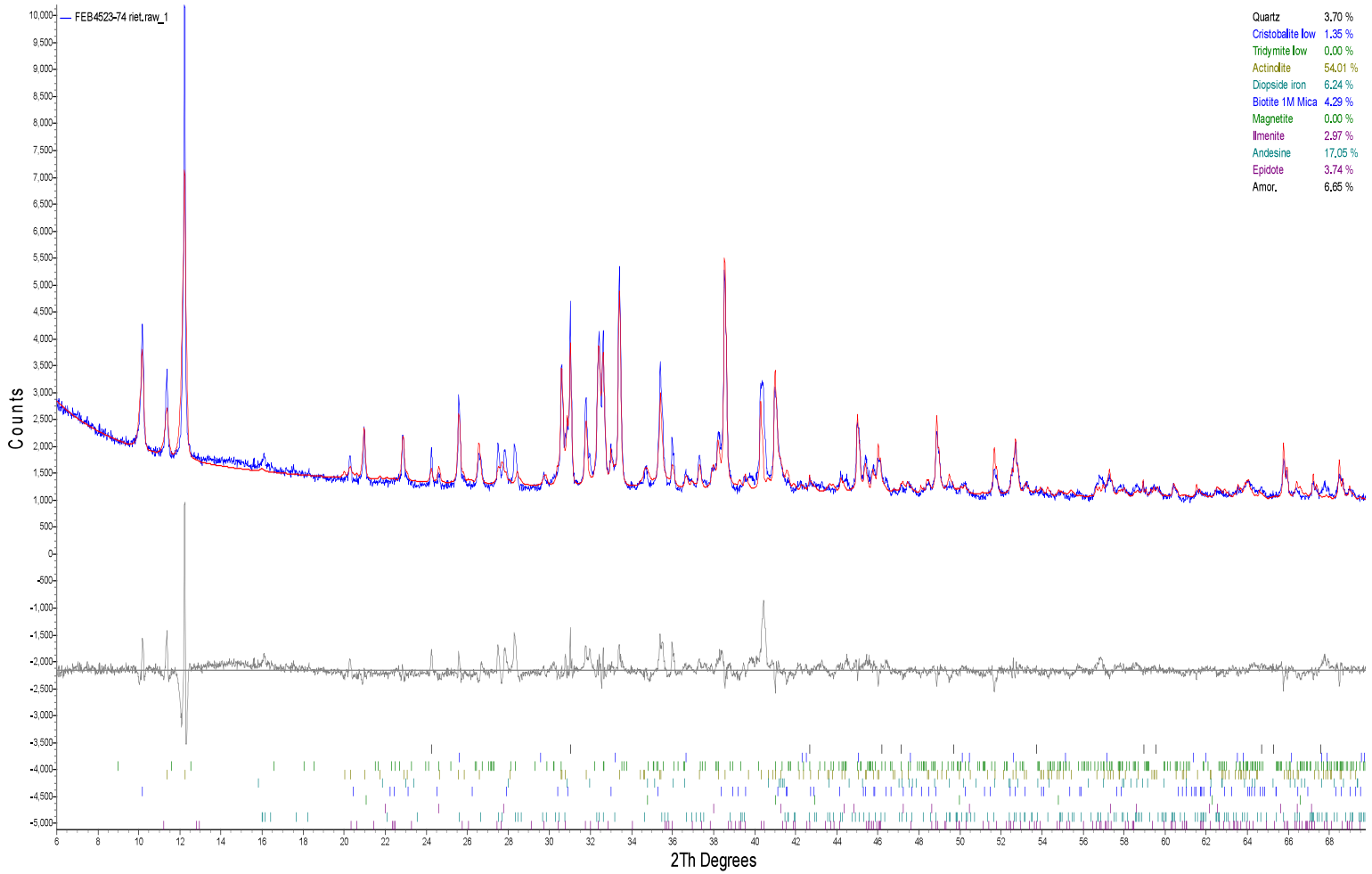
BL-10-26-MS-127-132



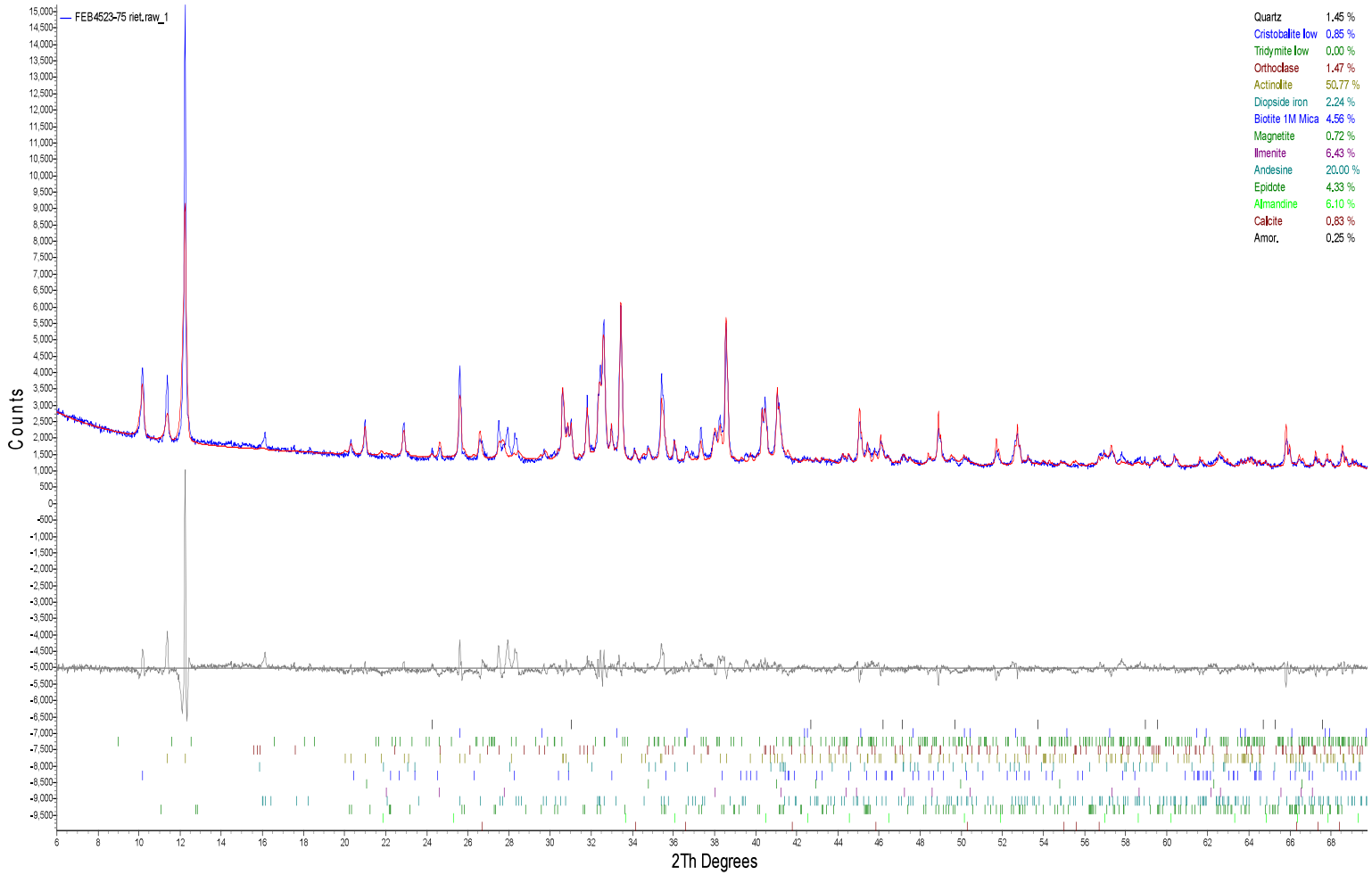
BL-10-26-GN-135-140

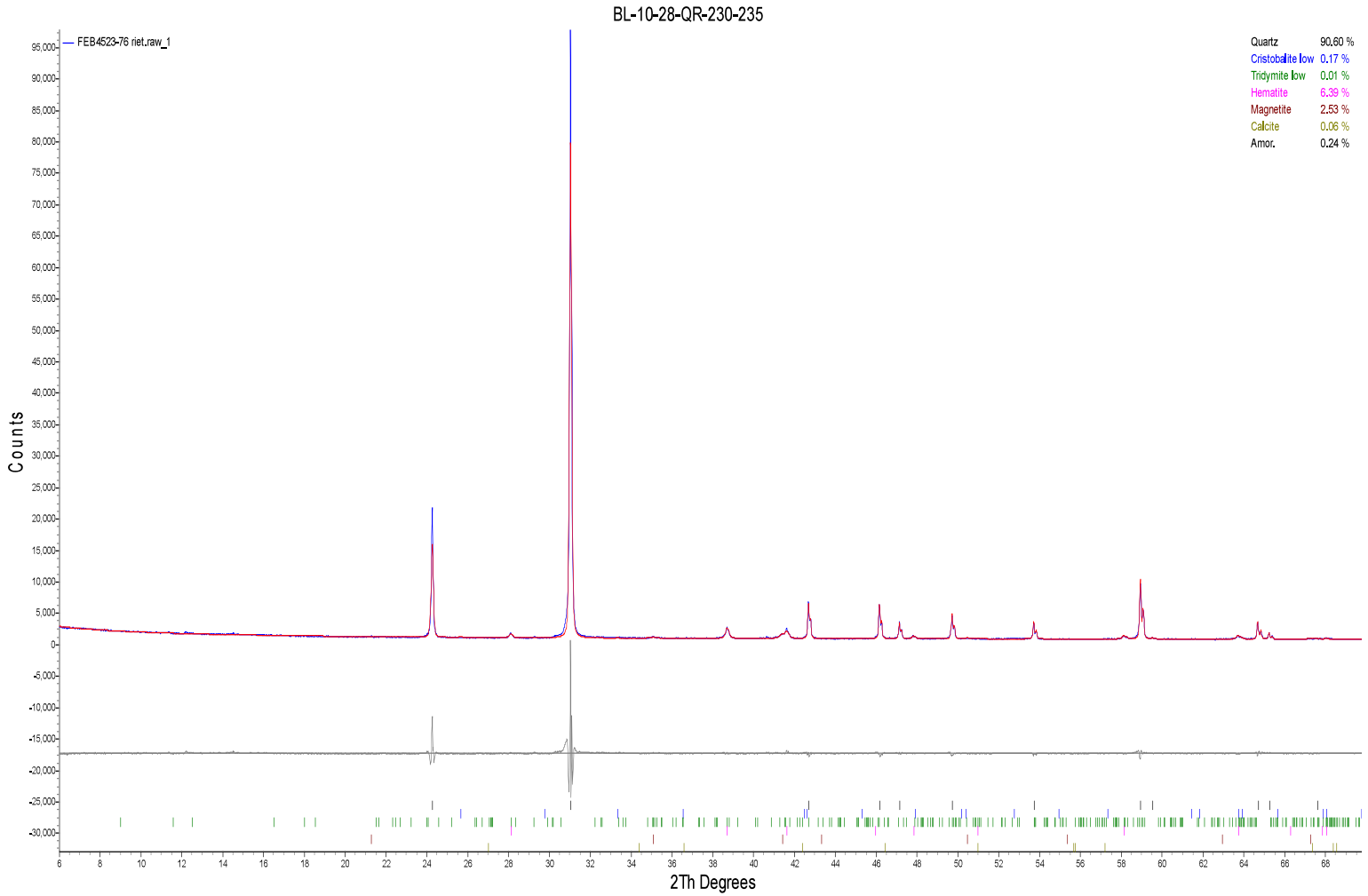


BL-10-28-AMP-95-100

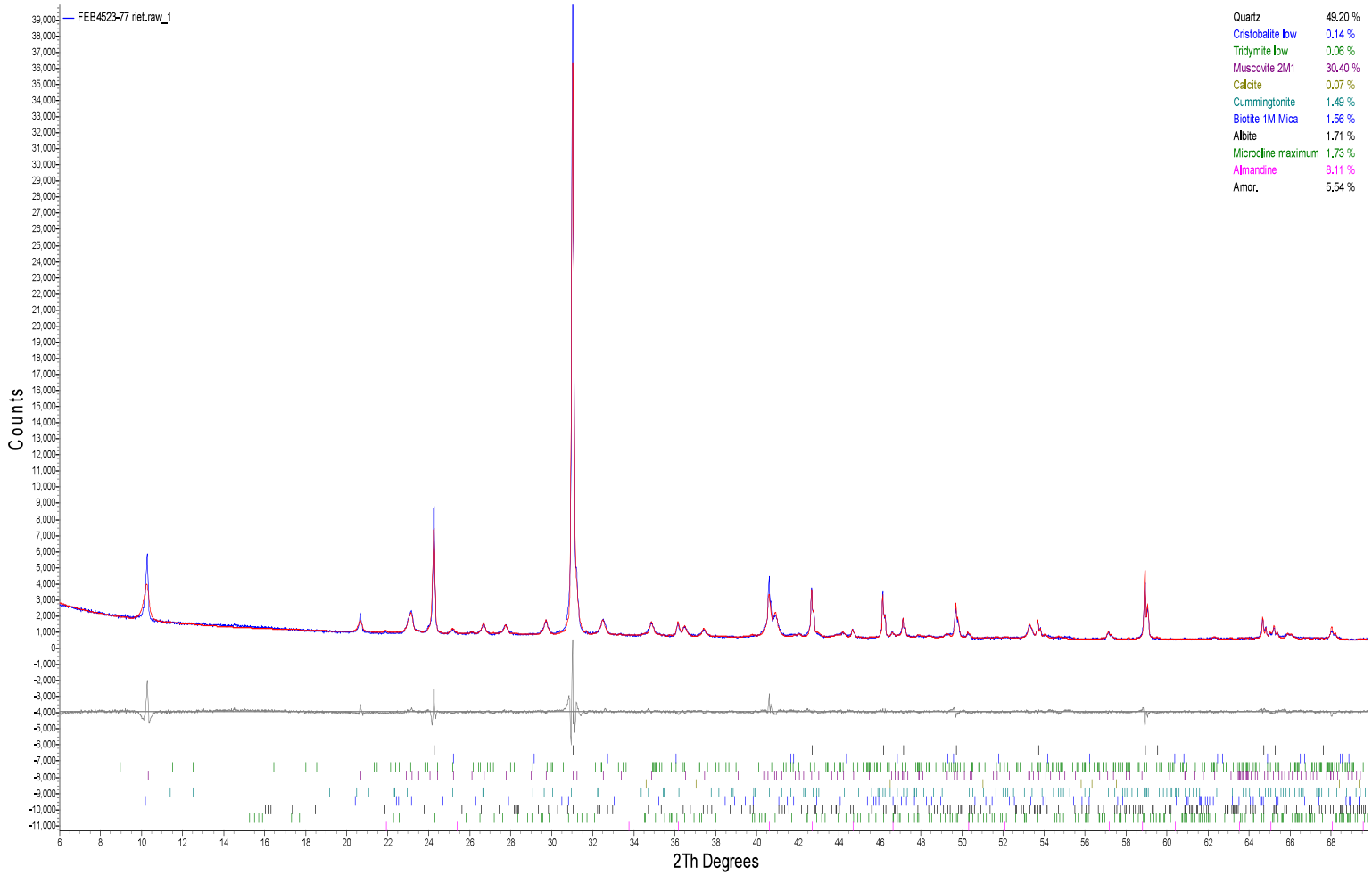


BL-10-28-AMP-155-160

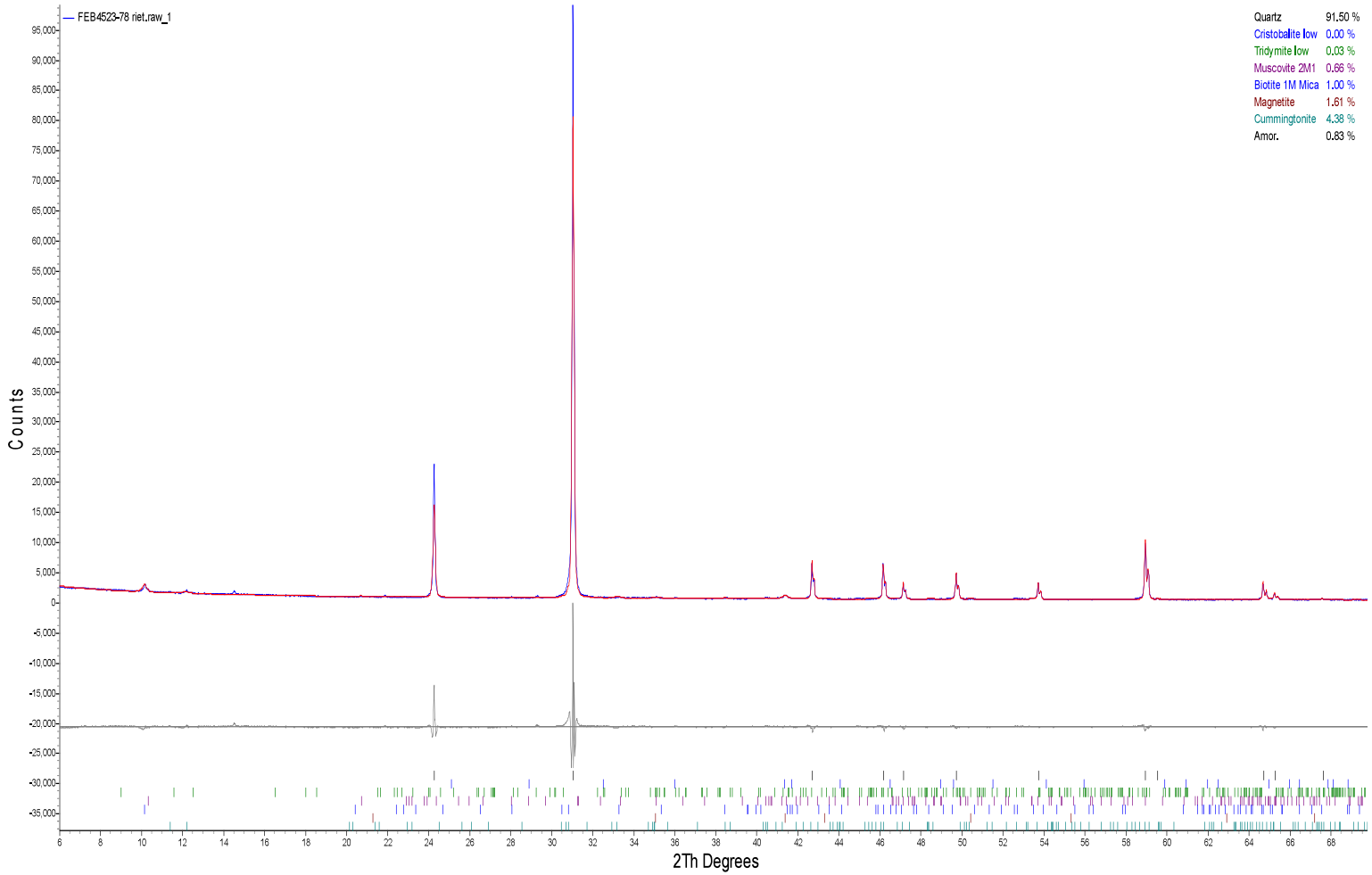



BL-10-28-QR-230-235
FEB4523-76 riet.raw_1
Quartz 90.60 %
Cristobalite low 0.17 %
Tridymite low 0.01 %
Hematite 6.39 %
Magnetite 2.53 %
Calcite 0.06 %
Amor. 0.24 %
Counts
2Th Degrees

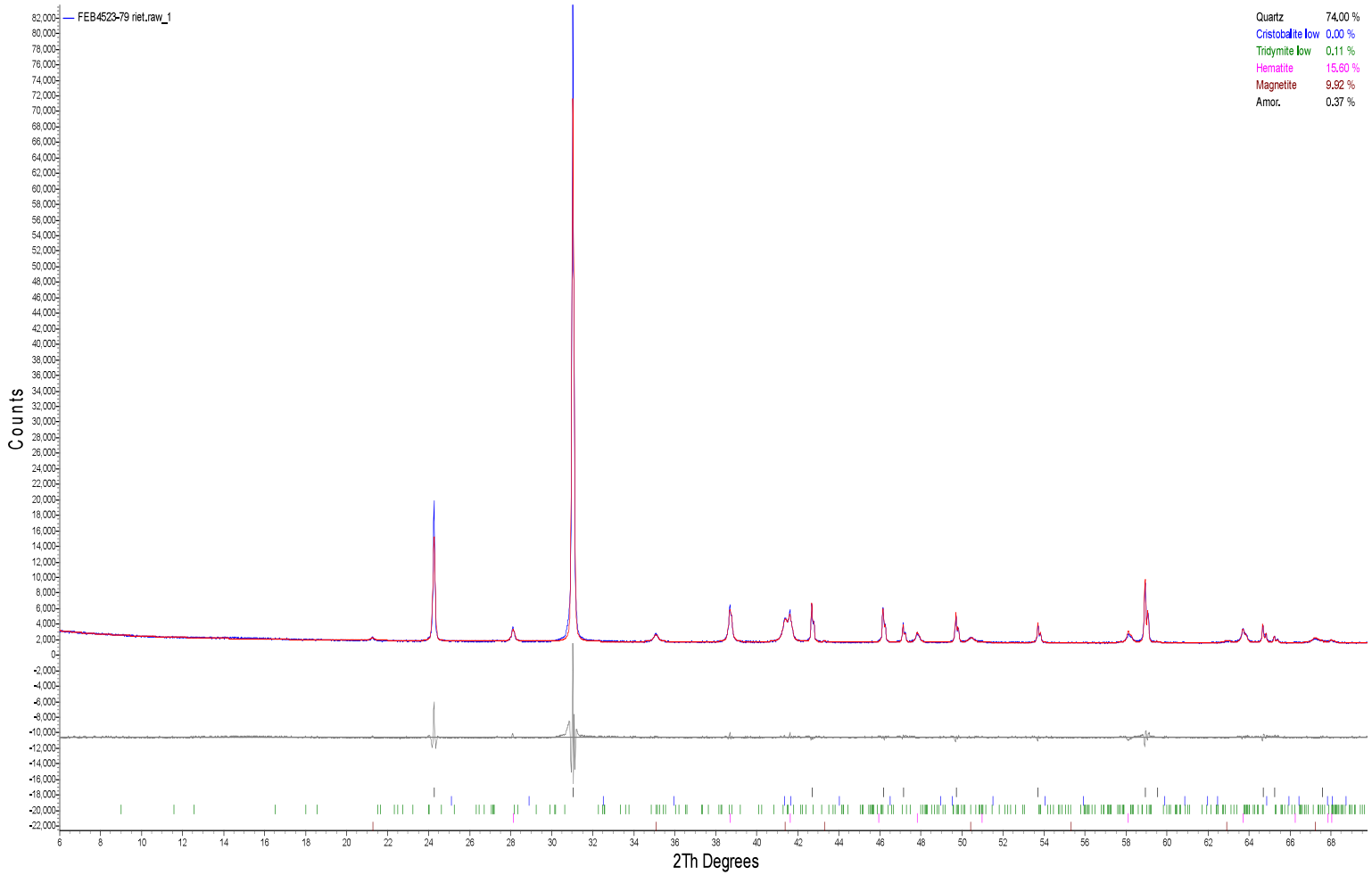
BL-10-28-MS-265-270



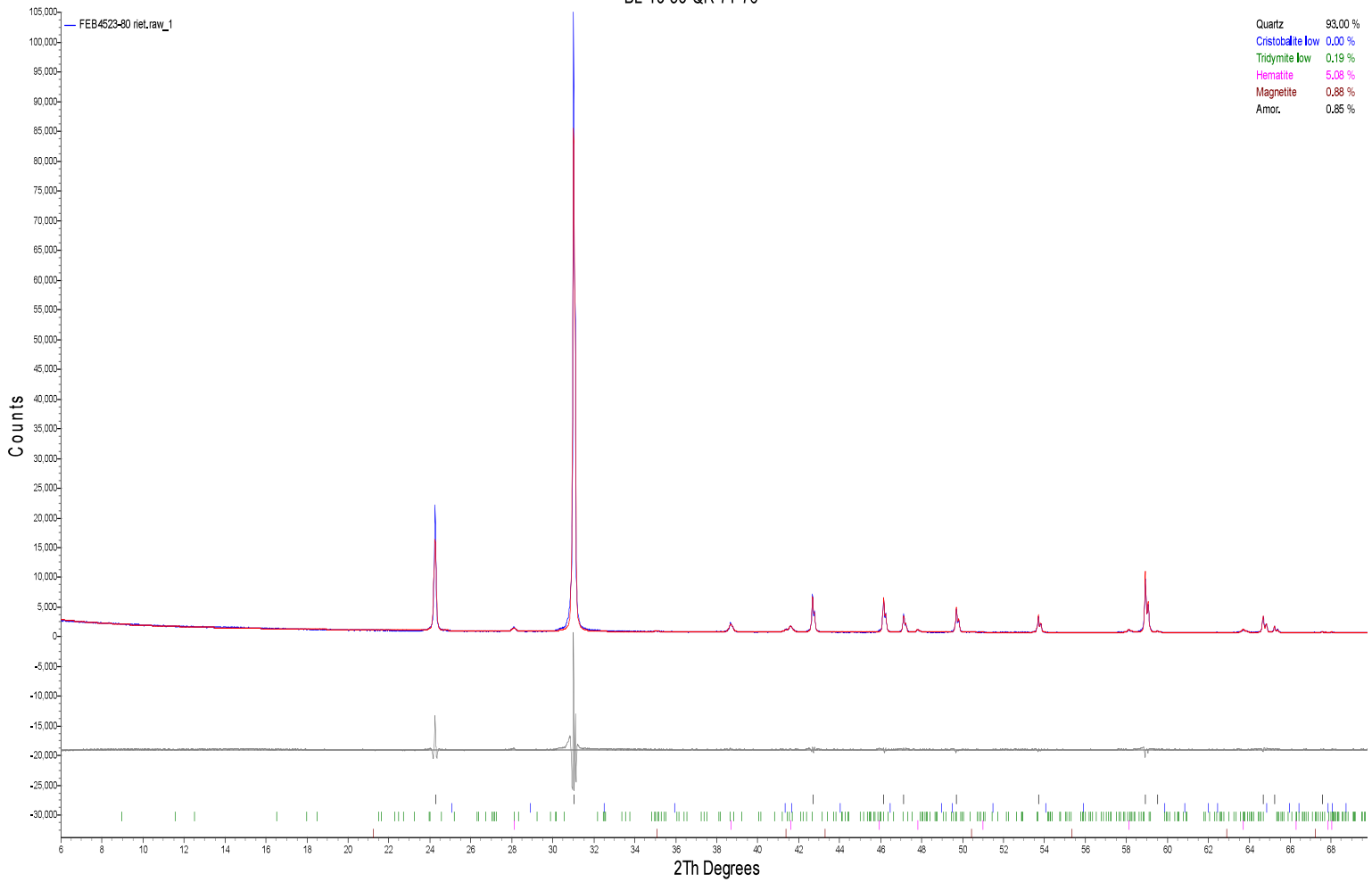
BL-10-28-QR-290-295



BL-10-30-QRIF-53-61



BL-10-30-QR-71-76



Quantitative X-Ray Diffraction by Rietveld Refinement

Report Prepared for:	*Environmental Services*
Project Number/ LIMS No.	*Custom XRD/MI4523-FEB22*
Sample Receipt:	*February 17, 2022*
Sample Analysis:	*April 12, 2022*
Reporting Date:	*May 9, 2022*

Instrument:	BRUKER AXS D8 Advance Diffractometer
Test Conditions:	Co radiation, 35 kV, 40 mA Regular Scanning: Step: 0.02°, Step time: 1s, 2θ range: 6-70°
Interpretations :	PDF2/PDF4 powder diffraction databases issued by the International Center for Diffraction Data (ICDD). DiffracPlus Eva and Topas software.
Detection Limit :	0.5-2%. Strongly dependent on crystallinity.

Contents:

1) Method Summary
2) Quantitative XRD Results
3) XRD Pattern(s)

Zhihai (Adrian) Zhang, Ph.D.
Junior Mineralogist

Huyun Zhou, Ph.D., P.Geo.
Senior Mineralogist

ACCREDITATION: SGS Natural Resources Lakefield is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025 for specific tests as listed on our scope of accreditation, including geochemical, mineralogical and trade mineral tests. To view a list of the accredited methods, please visit the following website and search SGS Canada Inc. - Minerals: https://www.scc.ca/en/search/palcan.

Method Summary

The Rietveld Method of Mineral Identification by XRD (ME-LR-MIN-MET-MN-D05) method used by SGS Natural Resources is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025.

Mineral Identification and Interpretation:

Mineral identification and interpretation involves matching the diffraction pattern of an unknown material to patterns of single-phase reference materials. The reference patterns are compiled by the Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Center for Diffraction Data (JCPDS-ICDD) database and released on software as Powder Diffraction Files (PDF).

Interpretations do not reflect the presence of non-crystalline and/or amorphous compounds, except when internal standards have been added by request. Mineral proportions may be strongly influenced by crystallinity, crystal structure and preferred orientations. Mineral or compound identification and quantitative analysis results should be accompanied by supporting chemical assay data or other additional tests.

Quantitative Rietveld Analysis:

Quantitative Rietveld Analysis is performed by using Topas 4.2 (Bruker AXS), a graphics based profile analysis program built around a non-linear least squares fitting system, to determine the amount of different phases present in a multicomponent sample. Whole pattern analyses are predicated by the fact that the X-ray diffraction pattern is a total sum of both instrumental and specimen factors. Unlike other peak intensity-based methods, the Rietveld method uses a least squares approach to refine a theoretical line profile until it matches the obtained experimental patterns.

Rietveld refinement is completed with a set of minerals specifically identified for the sample. Zero values indicate that the mineral was included in the refinement calculations, but the calculated concentration was less than 0.05wt%. Minerals not identified by the analyst are not included in refinement calculations for specific samples and are indicated with a dash.

DISCLAIMER: This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

WARNING: The sample(s) to which the findings recorded herein (the "Findings") relate was(were) drawn and / or provided by the Client or by a third party acting at the Client's direction. The Findings constitute no warranty of the sample's representativeness of any goods and strictly relate to the sample(s). The Company accepts no liability with regard to the origin or source from which the sample(s) is/are said to be extracted.

Summary of Rietveld Quantitative

Mineral/Compound	BL-10-30-AMP-130-135	BL-10-30-QR-240-245	BL-10-30-MS-268-273	BL-10-30-QR-285-290	BL-10-30-QRIF-298-303	BL-10-36-AMP-110-115	BL-10-36-AMP-150-155	BL-10-36-QR-255-260
	FEB4523-81 (wt %)	FEB4523-82 (wt %)	FEB4523-83 (wt %)	FEB4523-84 (wt %)	FEB4523-85 (wt %)	FEB4523-86 (wt %)	FEB4523-87 (wt %)	FEB4523-88 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	5.3	96.0	46.5	94.1	86.4	6.4	3.6	93.0
Cristobalite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.2	0.0
Tridymite	0.0	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Other Minerals								
Plagioclase	23.8	0.0	3.4	0.0	0.0	13.3	14.3	0.0
Potassium-feldspar	1.8	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0
Amphibole	43.9	2.7	0.0	4.4	6.0	41.1	40.3	3.1
Pyroxene	2.3	-	-	-	-	1.6	2.0	-
Mica	3.1	0.0	35.4	0.0	0.0	4.0	2.7	0.0
Hematite	-	0.0	-	0.1	0.0	2.7	-	0.3
Magnetite	0.0	0.9	-	0.4	2.8	0.3	0.0	0.5
Ilmenite	3.5	-	-	-	-	4.2	2.2	-
Calcite	-	-	-	-	3.8	-	0.0	-
Dolomite	0.0	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	1.7	-	-	-	-	-	-	-
Epidote	-	-	-	-	-	2.3	3.4	-
Almandine	5.7	-	7.4	0.7	0.4	-	7.5	2.4
Chlorite	-	-	-	0.2	0.1	-	-	-
Amorphous Content	8.8	0.2	3.4	0.1	0.5	23.5	21.0	0.6
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

1 - Zero values indicate that the mineral was included in the refinement, but the calculated concentration is below a measurable value. Dashes indicate that the mineral was not identifed by the analyst and not included in the refinement calculation for the sample.

2 - Si02 (alpha quartz) determination is made by semi-quantitative X-ray diffraction analysis using the standard addition procedure; for the sample containing high amounts of alpha quartz (>80%), the determination is made by Rietveld refinement method directly. Accuracy is +/- 10% relative to the reported value; the detection limit is 0.1%.

3 - SiO2 (cristobalite and tridymite), the determination is made by Rietveld quantitative X-ray diffraction analysis using the alpha quartz determined above as known value.

4 - The weight percent quantities indicated have been normalized to a sum of 100%.

Mineral/Compound	Formula
Quartz	SiO_2
Cristobalite	SiO_2
Tridymite	SiO_2
Plagioclase	$(NaSi,CaAl)AlSi_2O_8$
Potassium-feldspar	$KAlSi_3O_8$
Amphibole	$(Na,K)Ca_2(Fe,Mg)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$
Pyroxene	$(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$
Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Mica	$K(Mg,Fe)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$
Hematite	Fe_2O_3
Magnetite	Fe_3O_4
Ilmenite	$FeTiO_3$
Calcite	$CaCO_3$
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$
Scapolite	$(Na,Ca)_4[Al_3Si_9O_{24}]Cl$
Sodalite	$Na_8(AlSiO_4)_6Cl_2$
Epidote	$Ca_2(Al,Fe)Al_2O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$
Almandine	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$
Chlorite	$(Fe,(Mg,Mn)_5,Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$

Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-10-36-QR-305-310 FEB4523-89 (wt %)	BL-10-39-QR-30-35 FEB4523-90 (wt %)	BL-10-39-QRIF-60-65 FEB4523-91 (wt %)	BL-10-43-AMP-50-55 FEB4523-92 (wt %)	BL-10-43-AMP-130-135 FEB4523-93 (wt %)	BL-10-43-AMP-195-200 FEB4523-94 (wt %)	BL-10-43-QRIF-243-248 FEB4523-95 (wt %)	BL-10-44-AMP-10-15 FEB4523-96 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	94.4	99.1	79.9	2.6	2.6	5.9	84.3	3.8
Cristobalite	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	0.0	0.0	0.0	23.7	19.3	12.6	0.0	19.3
Potassium-feldspar	0.0	0.0	0.0	1.5	1.6	1.1	0.0	1.5
Amphibole	0.0	0.0	0.0	47.5	44.4	34.4	0.0	42.5
Pyroxene	-	-	-	1.9	2.8	1.0	-	1.2
Mica	0.0	0.0	0.0	2.0	2.3	6.1	0.0	3.5
Hematite	0.2	0.5	18.3	-	-	-	14.9	-
Magnetite	2.9	0.3	1.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8
Ilmenite	-	-	-	3.9	3.3	4.2	-	3.7
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	-	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidote	-	-	-	-	-	-	-	-
Almandine	-	-	-	-	-	-	-	7.7
Chlorite	0.2	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	2.3	0.1	0.2	16.1	22.8	34.0	0.1	16.1
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

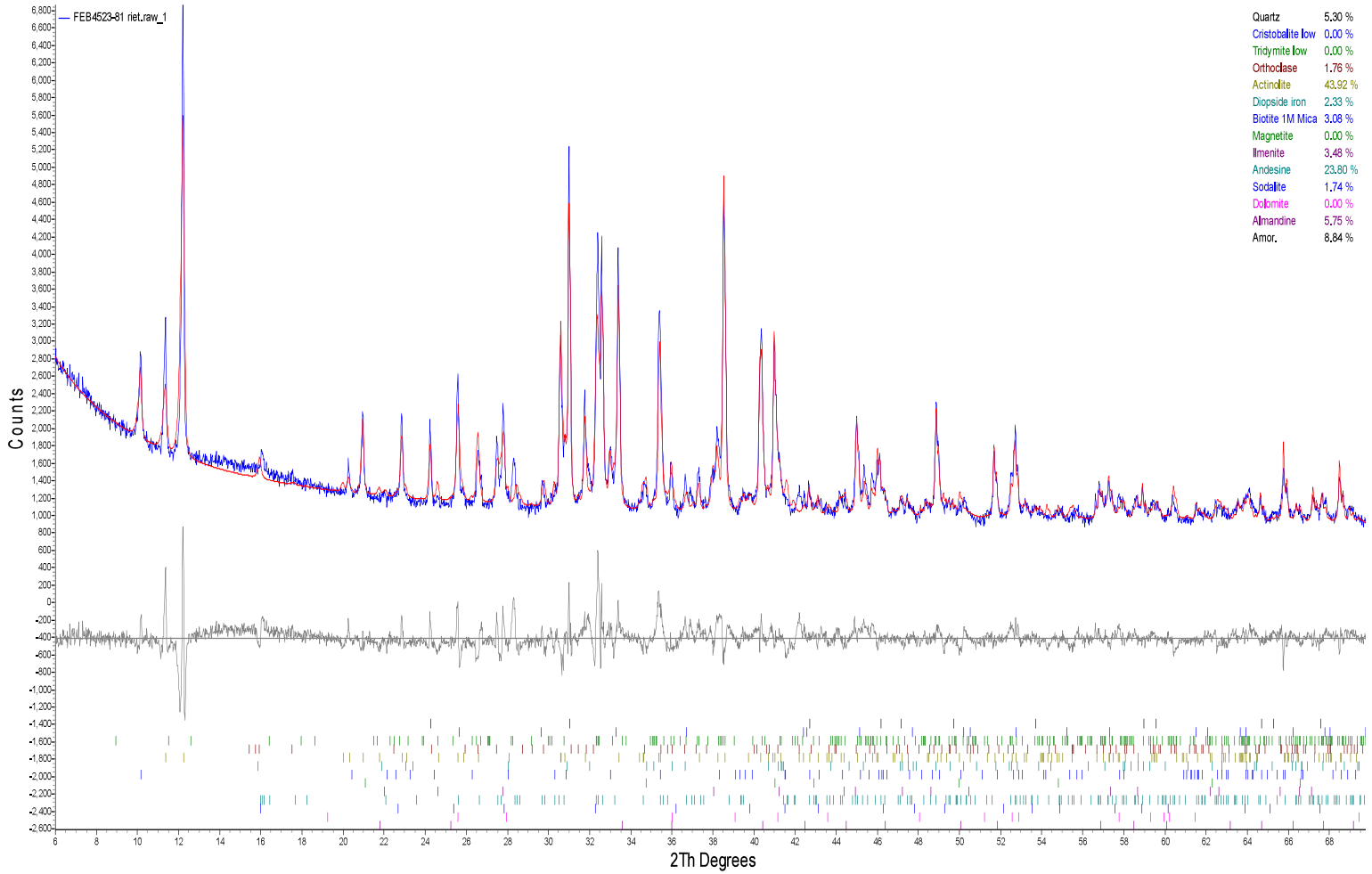
Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

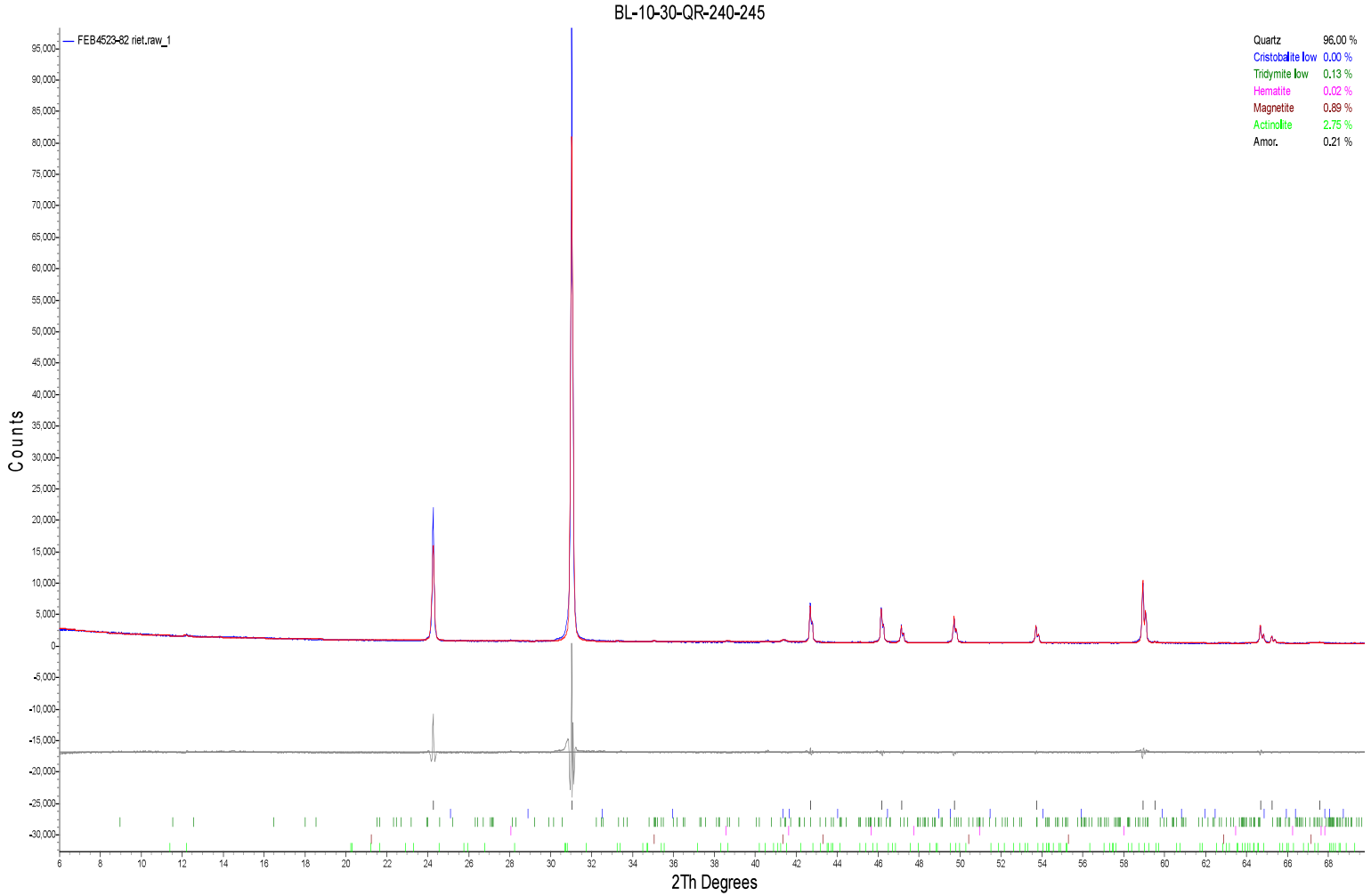
Mineral/Compound	BL-10-44-AMP-60-65 FEB4523-97 (wt %)	BL-10-44-AMP-190-195 FEB4523-98 (wt %)	BL-10-44-AMP-245-250 FEB4523-99 (wt %)	BL-10-44-AMP-305-310 FEB4523-100 (wt %)	BL-10-44-AMP-355-360 FEB4523-101 (wt %)	BL-10-68-AMP-10-15 FEB4523-102 (wt %)	BL-10-68-AMP-65-70 FEB4523-103 (wt %)	BL-10-68-AMP-115-120 FEB4523-104 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	6.2	3.7	4.5	5.3	5.6	3.1	1.9	3.2
Cristobalite	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	19.7	20.2	13.9	11.8	18.6	31.0	20.6	15.7
Potassium-feldspar	1.5	2.0	1.1	0.0	1.9	2.4	2.7	1.9
Amphibole	46.3	52.7	38.7	42.5	46.0	38.5	44.8	37.1
Pyroxene	1.1	1.4	1.4	3.4	1.2	2.4	2.4	1.4
Mica	4.0	4.9	4.3	4.4	4.4	5.0	3.7	3.0
Hematite	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnetite	0.5	0.4	0.6	0.0	0.5	0.2	0.0	0.5
Ilmenite	5.1	6.4	4.4	4.3	6.1	4.4	2.7	3.8
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	-	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	7.8	5.9	-	-	-	9.7
Sodalite	-	-	1.4	-	-	-	-	1.1
Epidote	-	-	-	6.4	-	-	-	-
Almandine	-	6.5	4.7	-	-	9.2	7.3	5.4
Chlorite	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	15.6	1.7	17.2	15.3	15.6	3.8	14.0	17.3
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

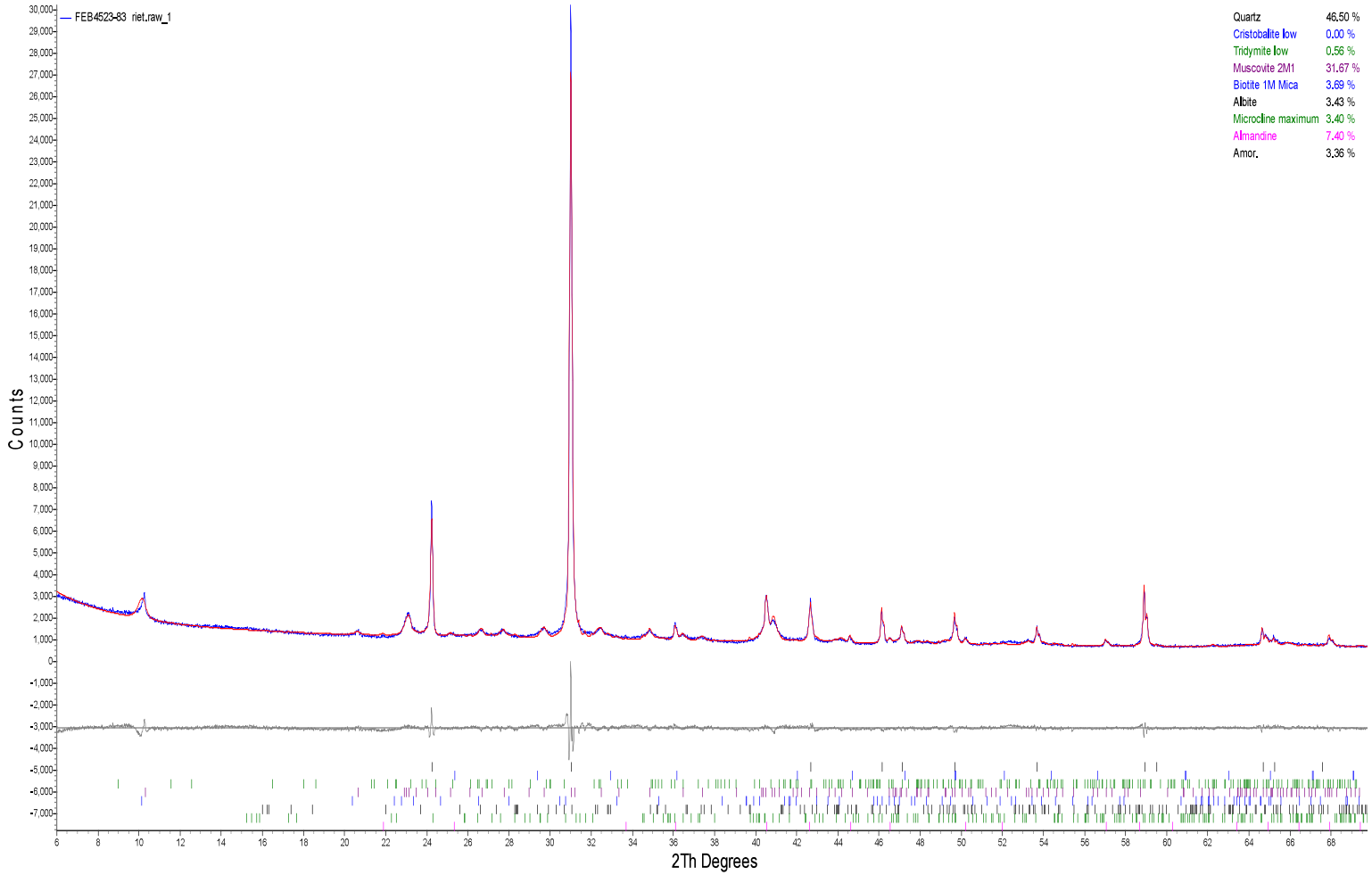
Mineral/Compound	BL-10-68-AMP-155-160 FEB4523-105 (wt %)	BL-10-68-QR-163-168 FEB4523-106 (wt %)	BL-10-75-AMP-115-120 FEB4523-107 (wt %)	BL-10-75-GN-260-265 FEB4523-108 (wt %)	BL-10-81-QR-77-82 FEB4523-109 (wt %)	BL-12-06-AMP-65-70 FEB4523-110 (wt %)	BL-12-06-AMP-95-100 FEB4523-111 (wt %)	BL-12-06-AMP-140-145 FEB4523-112 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	8.1	94.7	5.6	35.0	91.1	3.9	4.0	1.6
Cristobalite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.2
Tridymite	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Other Minerals								
Plagioclase	9.7	0.0	15.9	8.7	0.0	13.4	19.2	10.1
Potassium-feldspar	1.5	0.0	1.4	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Amphibole	48.3	0.0	43.0	0.0	0.0	34.5	54.7	54.5
Pyroxene	0.7	-	1.9	1.7	-	1.2	1.6	4.9
Mica	5.0	0.0	2.9	24.0	0.0	3.3	4.6	7.8
Hematite	-	2.7	-	-	0.3	-	-	-
Magnetite	0.8	0.2	0.0	3.8	0.5	0.0	0.4	0.0
Ilmenite	5.1	-	5.3	-	-	3.7	4.9	3.4
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	3.7
Dolomite	-	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	0.3	-	3.3	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidote	-	-	-	2.8	-	3.2	4.6	5.3
Almandine	-	0.0	-	-	5.1	3.6	-	2.5
Chlorite	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	20.8	2.3	24.0	2.1	2.9	29.8	3.7	5.9
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

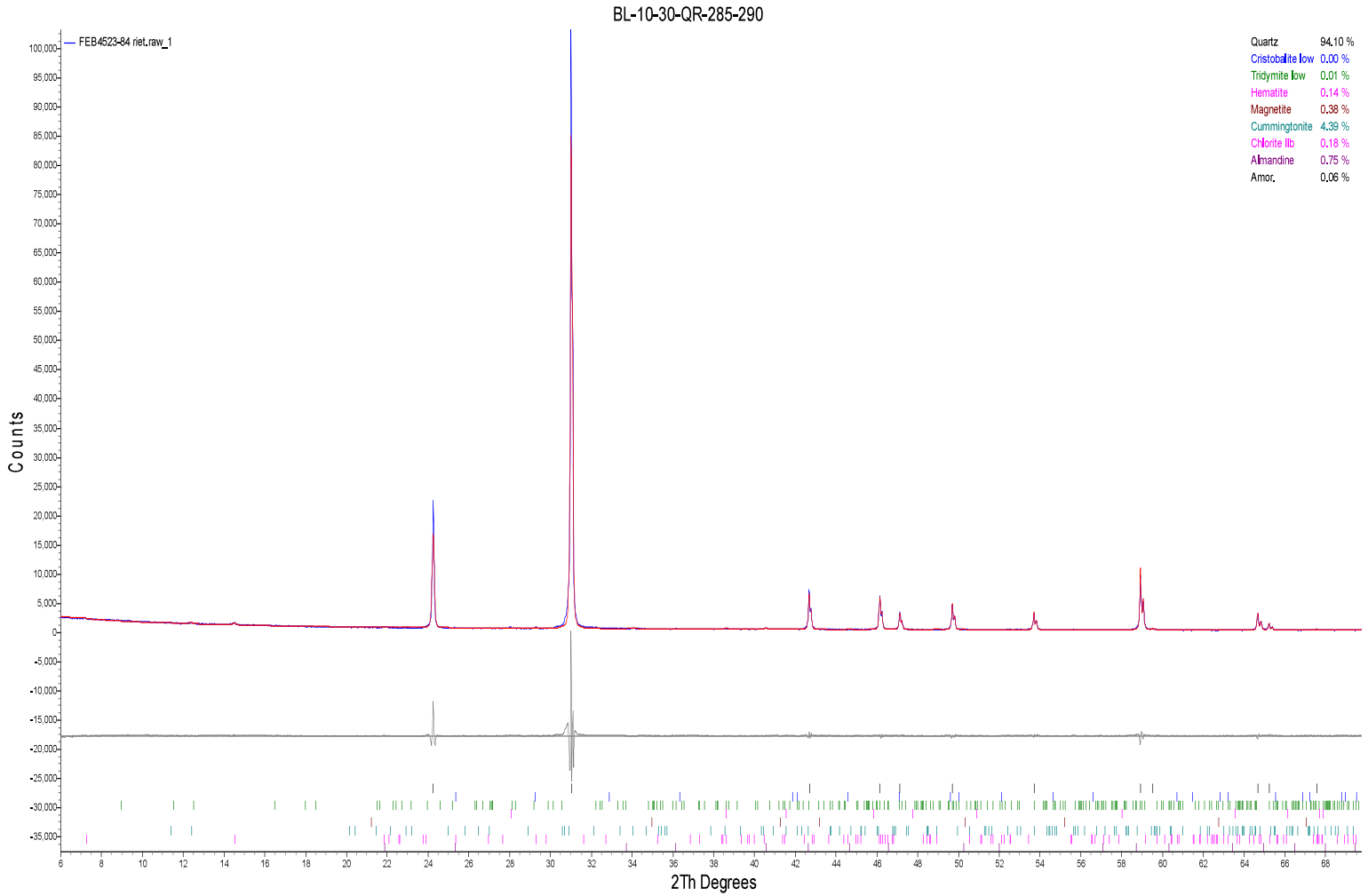
BL-10-30-AMP-130-135



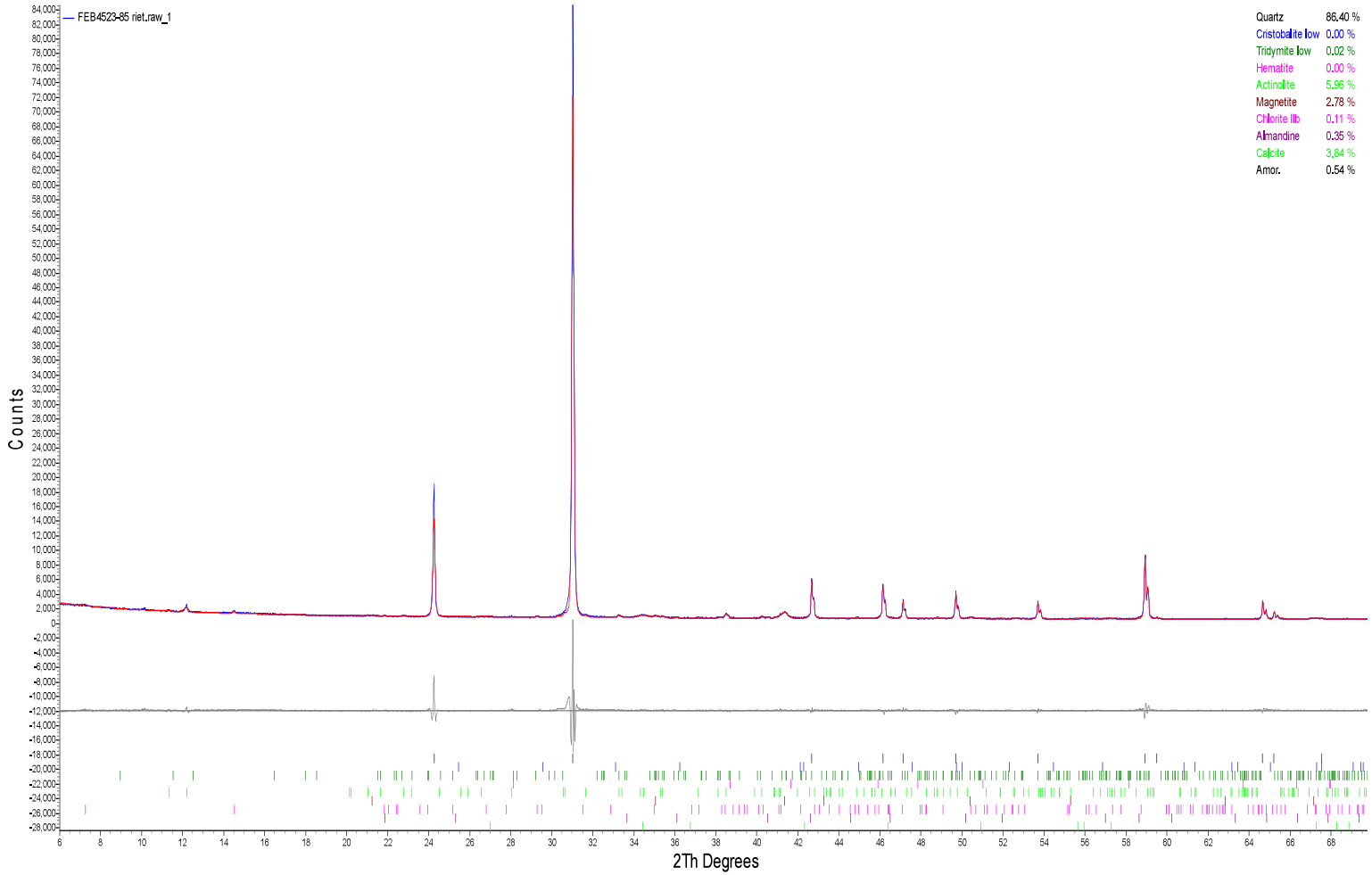

BL-10-30-QR-240-245
FEB4523-82 riet.raw_1
Quartz 96.00 %
Cristobalite low 0.00 %
Tridymite low 0.13 %
Hematite 0.02 %
Magnetite 0.89 %
Actinolite 2.75 %
Amor. 0.21 %
Counts
2Th Degrees

BL-10-30-MS-268-273

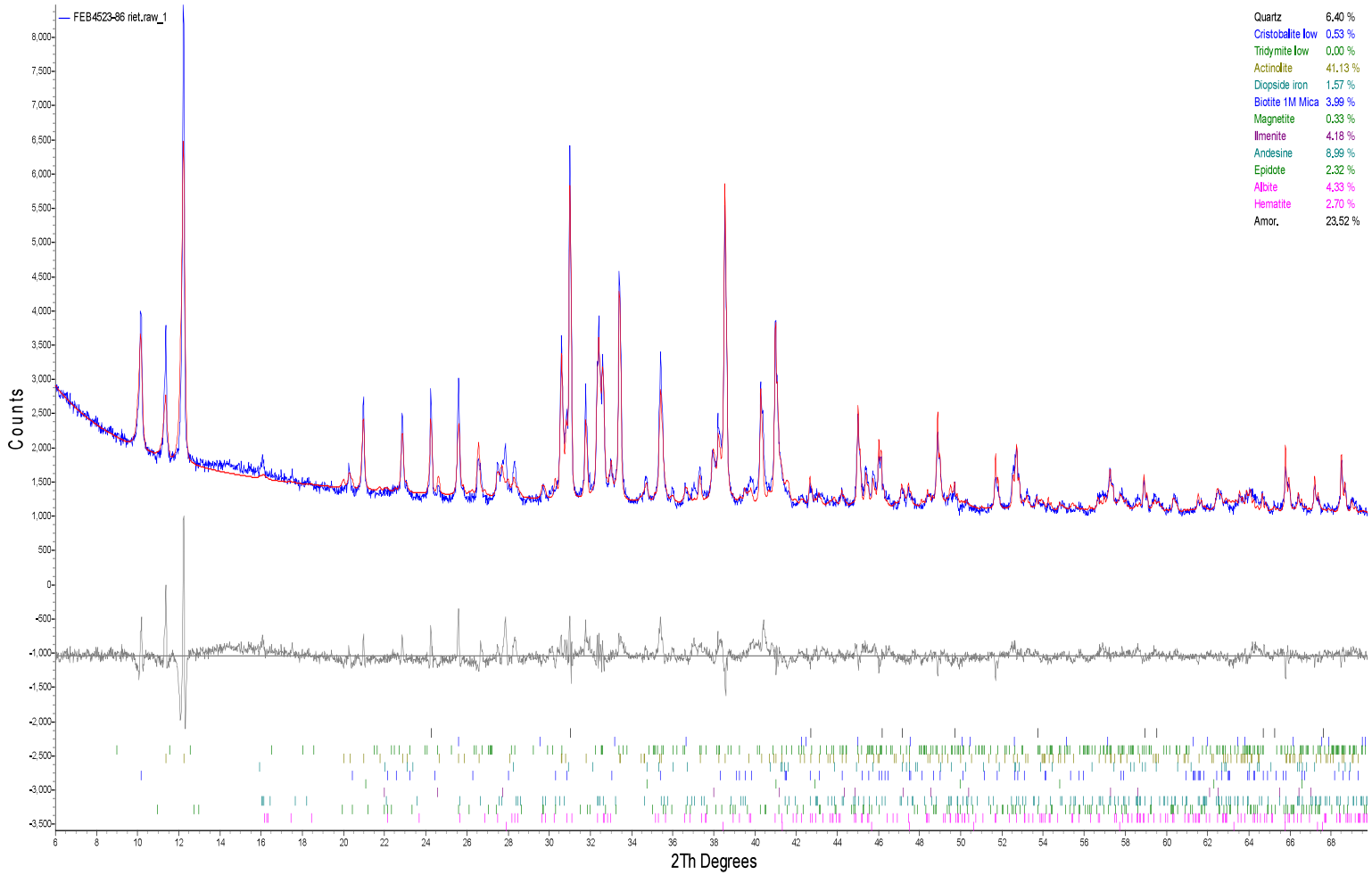



BL-10-30-QR-285-290
FEB4523-84 riet.raw_1
Quartz 94.10 %
Cristobalite low 0.00 %
Tridymite low 0.01 %
Hematite 0.14 %
Magnetite 0.38 %
Cummingtonite 4.39 %
Chlorite IIb 0.18 %
Almandine 0.75 %
Amor. 0.06 %
Counts
2Th Degrees

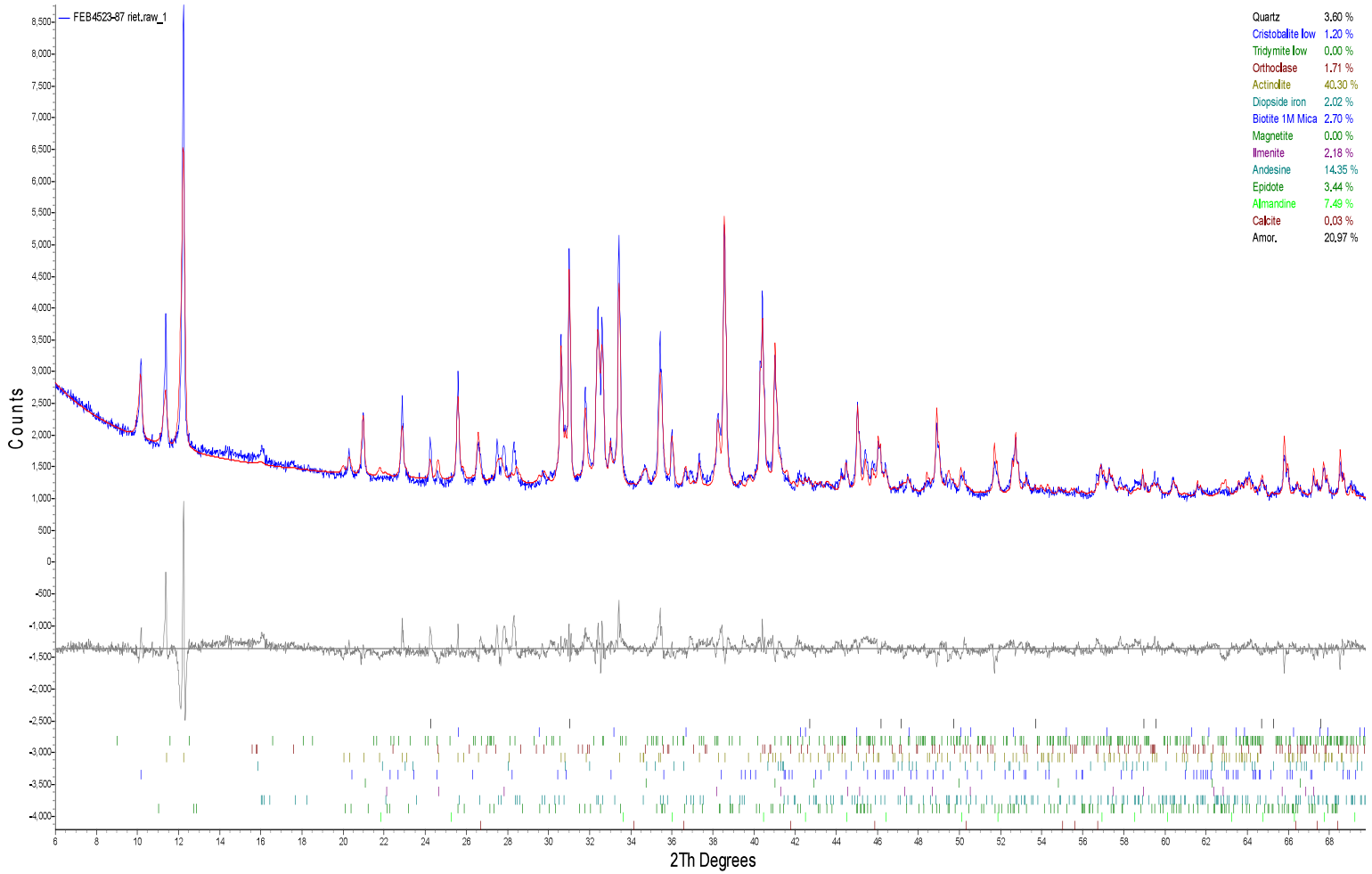
BL-10-30-QRIF-298-303



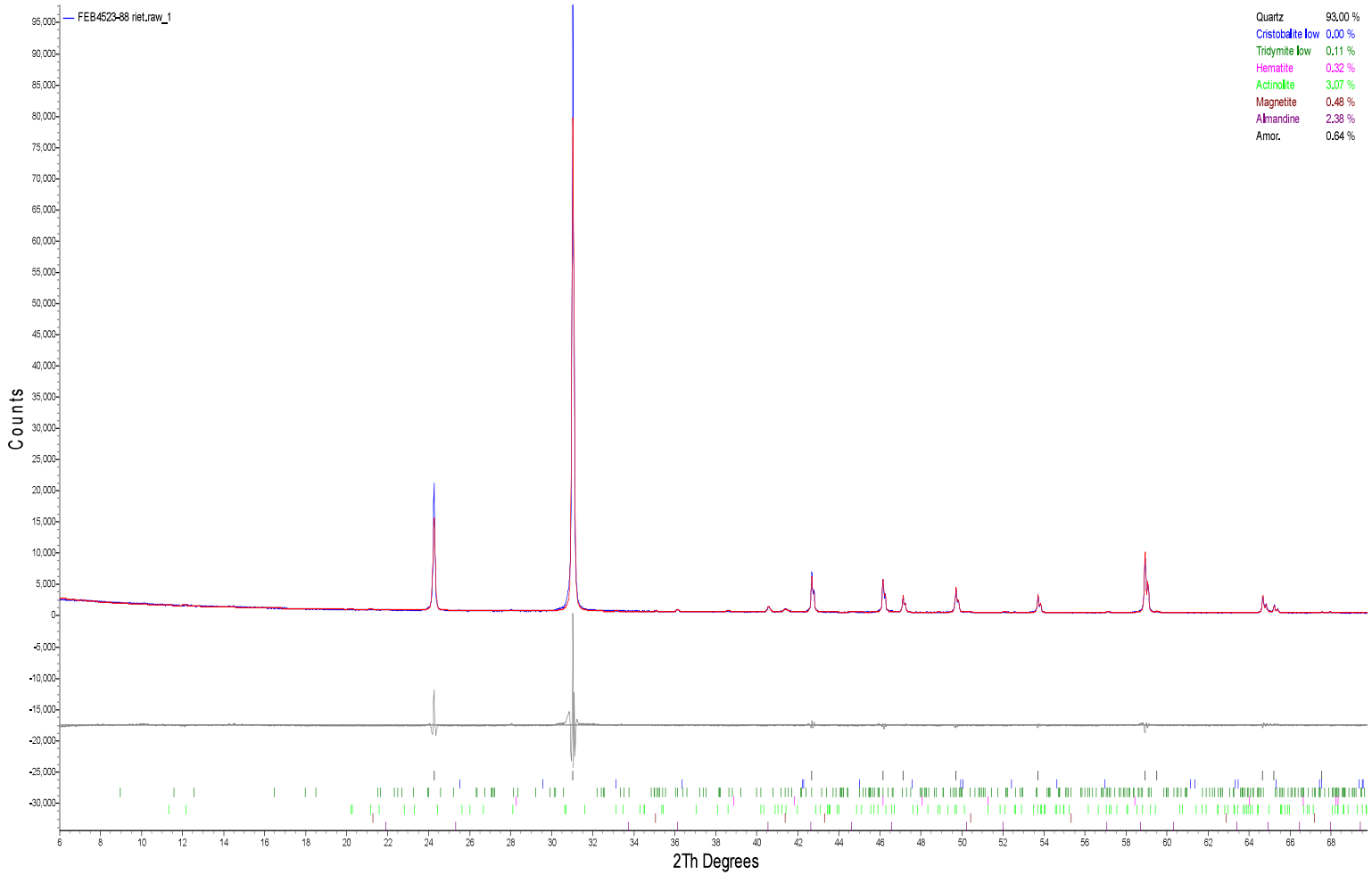
BL-10-36-AMP-110-115



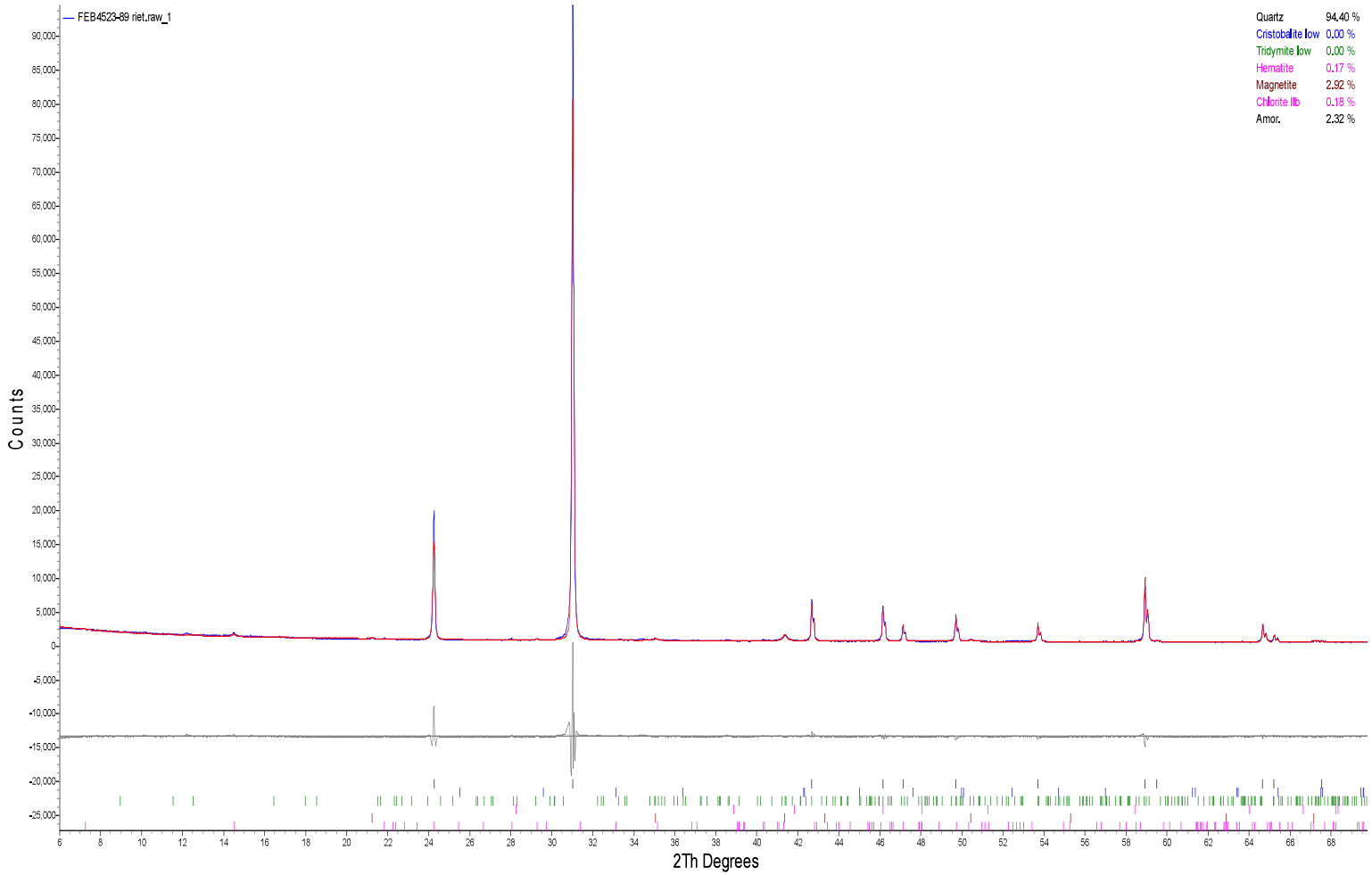
BL-10-36-AMP-150-155



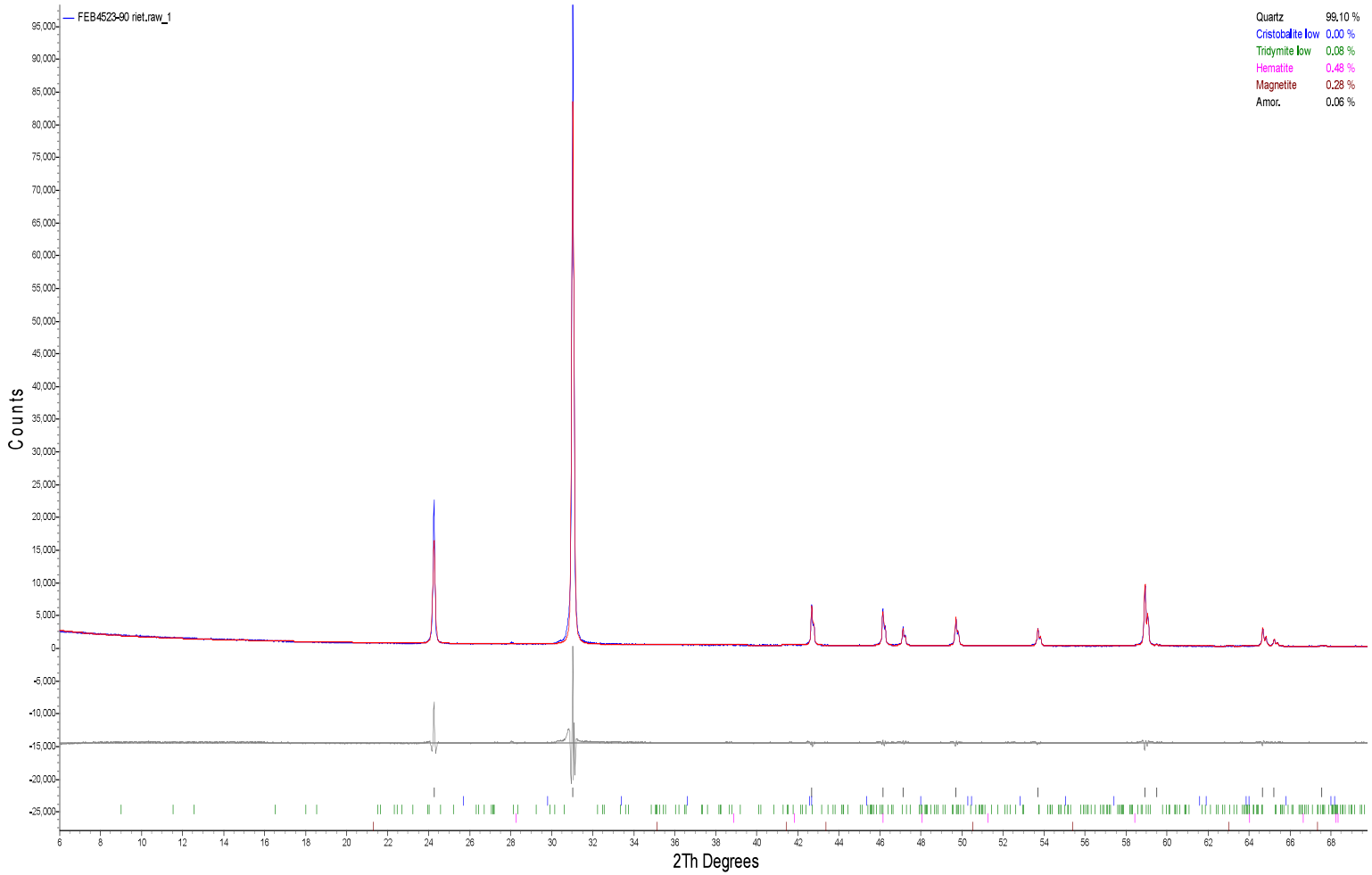
BL-10-36-QR-255-260



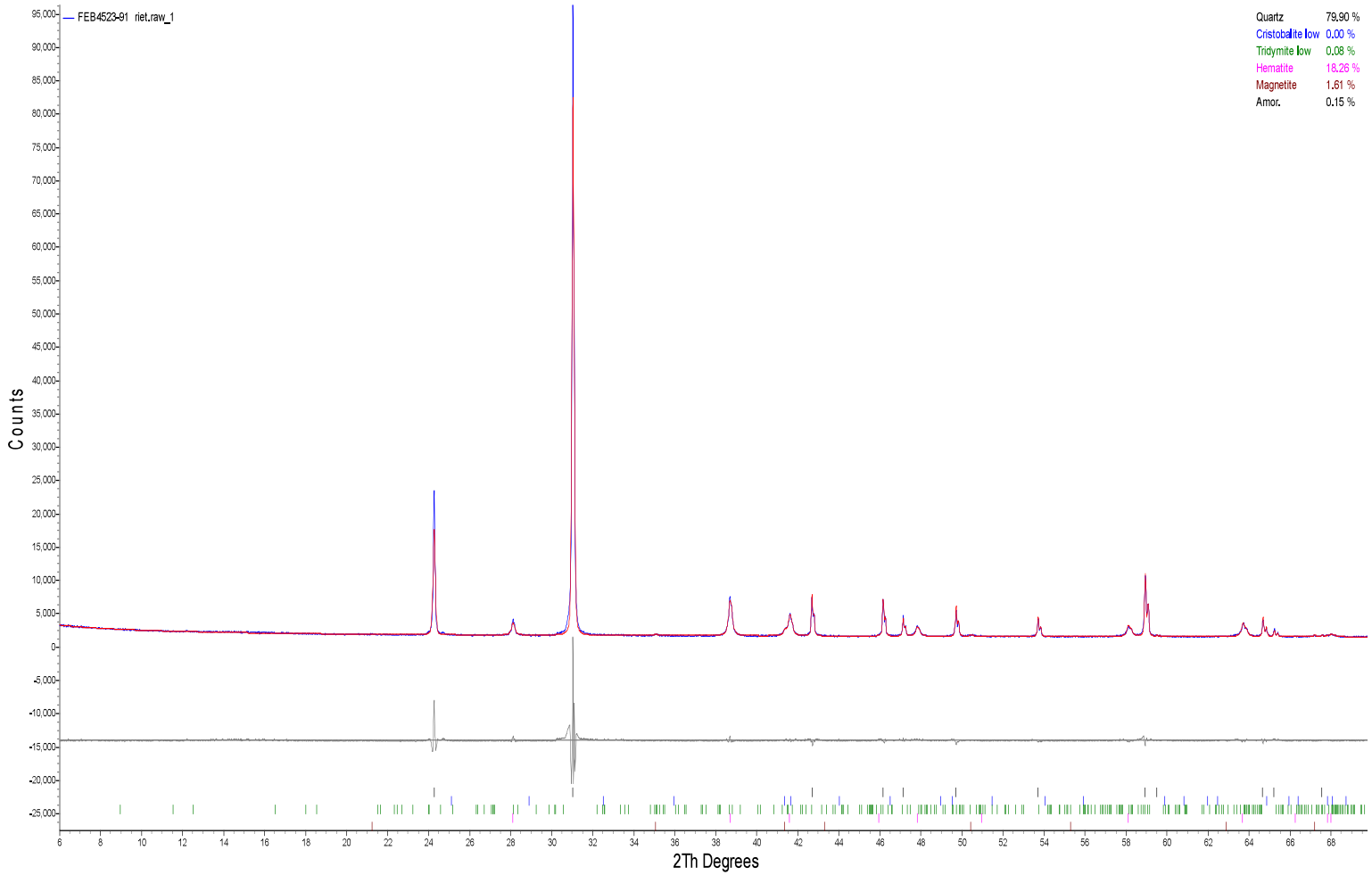
BL-10-36-QR-305-310



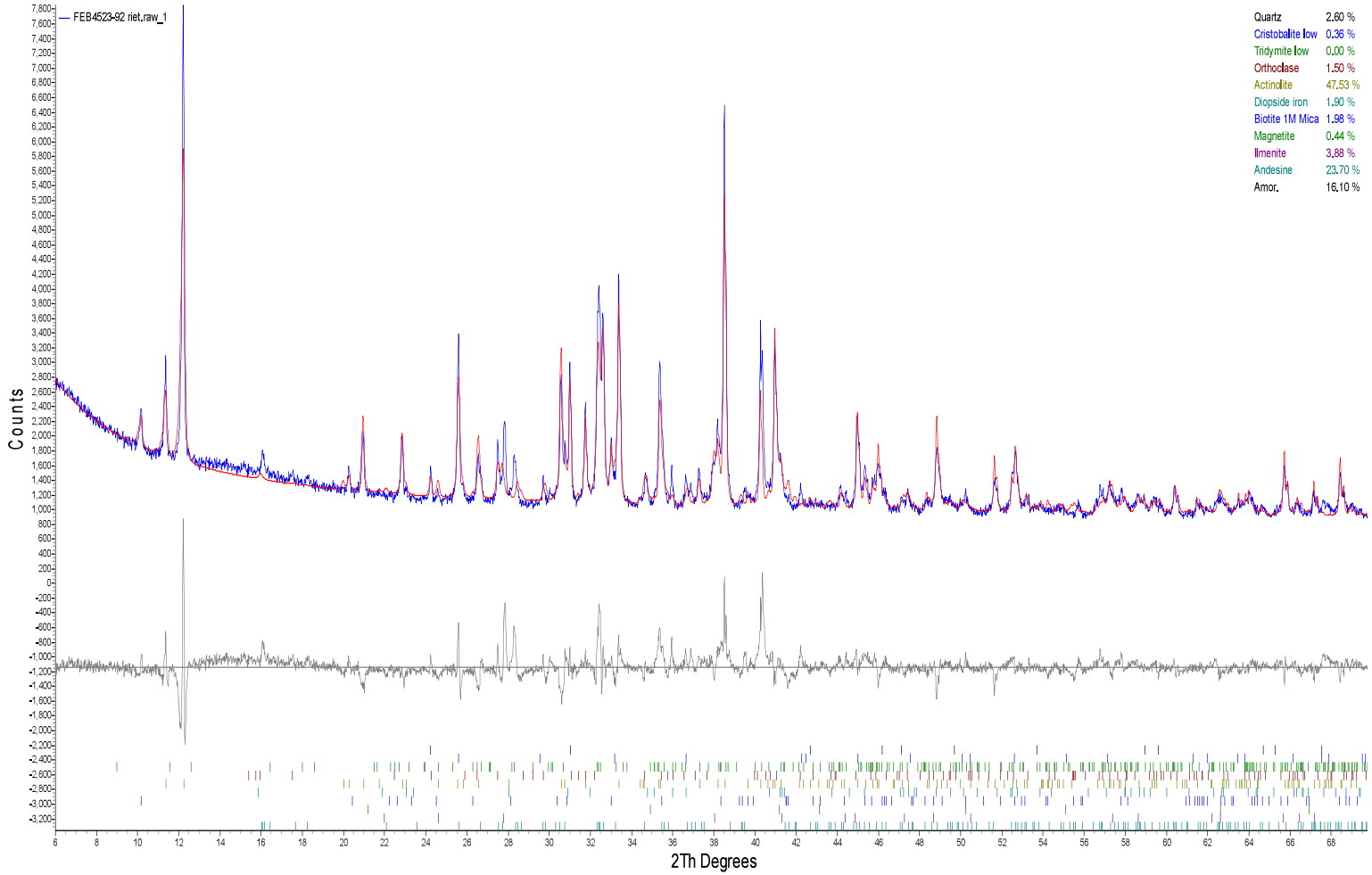
BL-10-39-QR-30-35



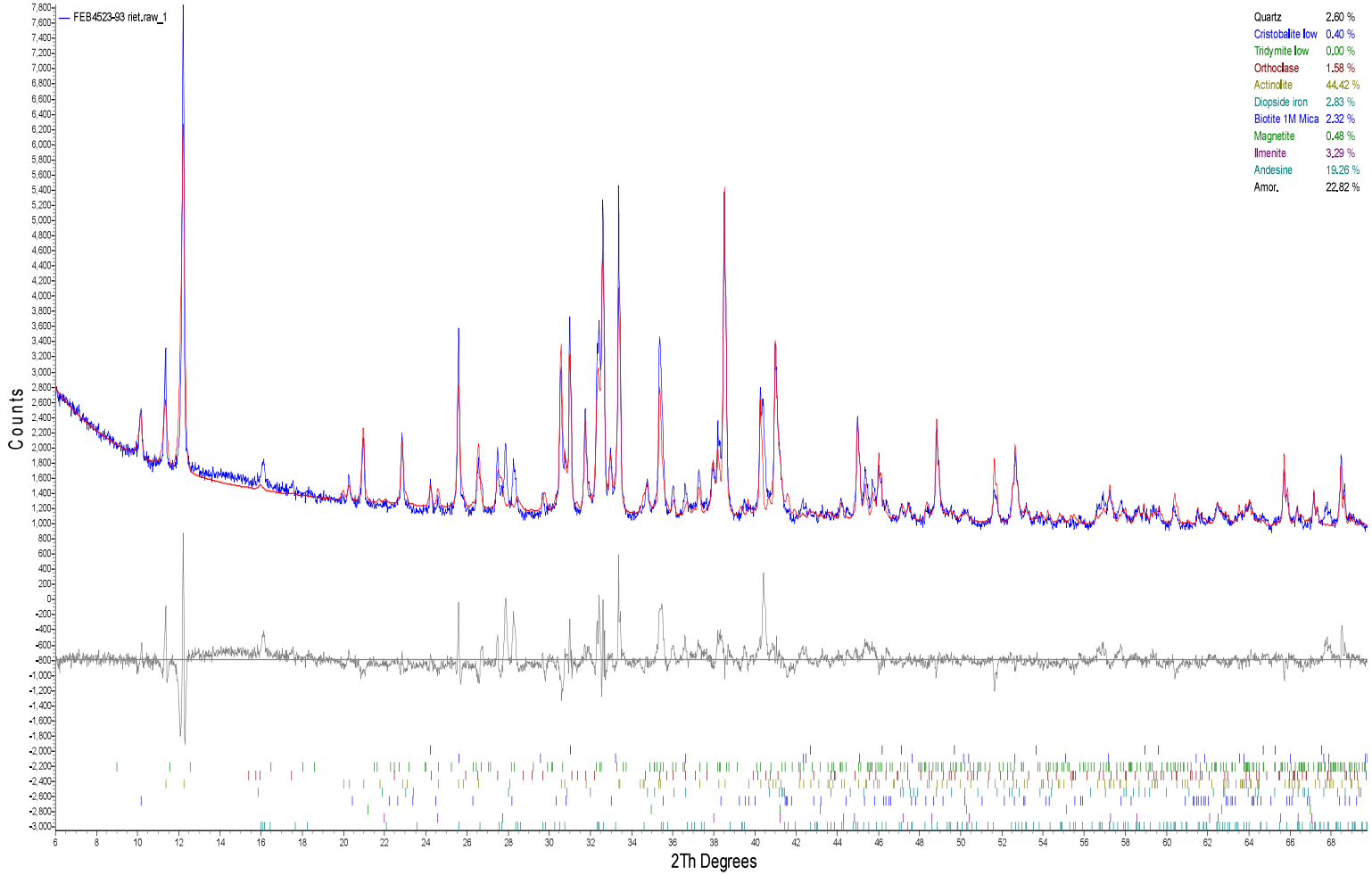
BL-10-39-QRIF-60-65



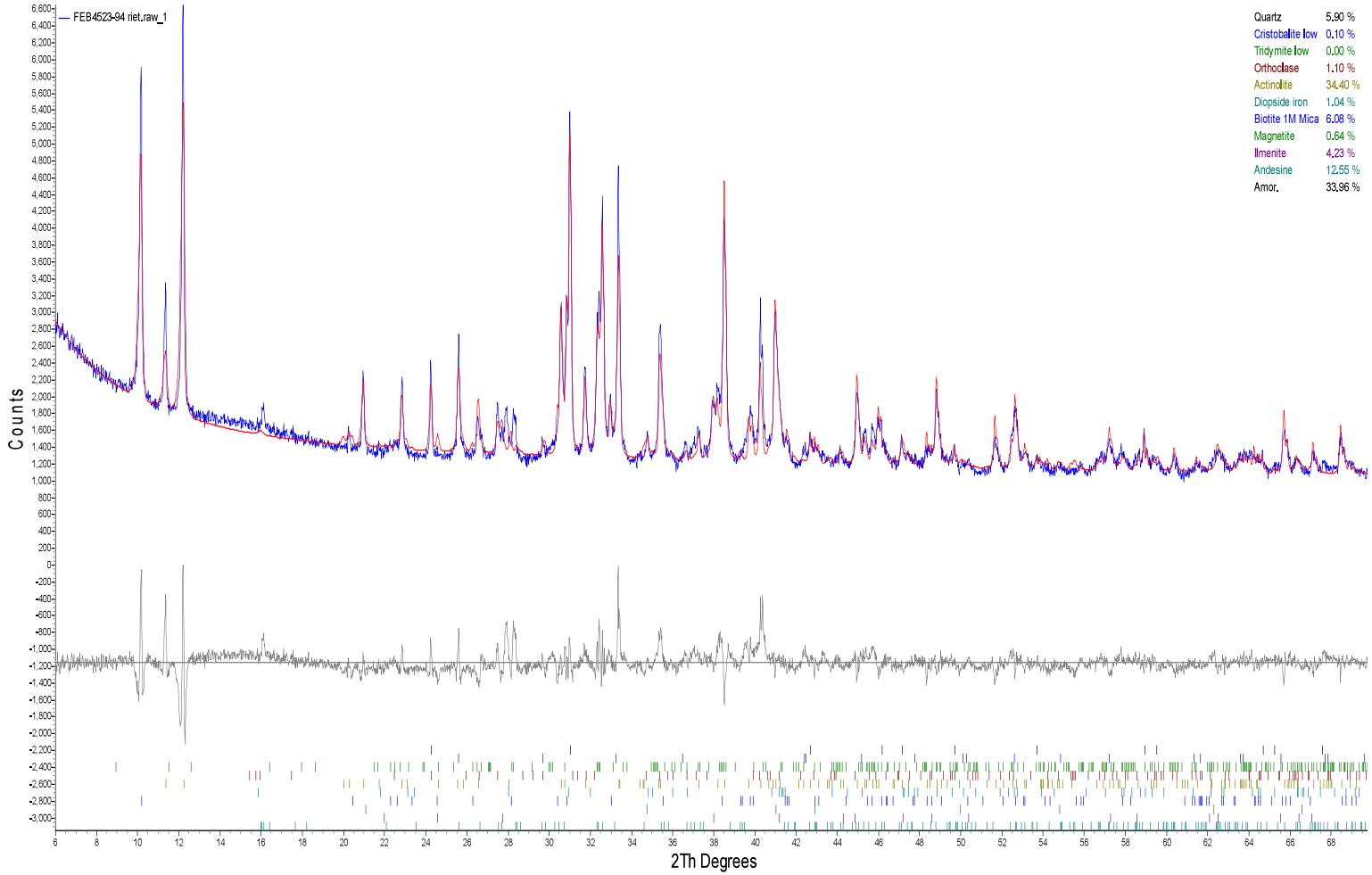
BL-10-43-AMP-50-55



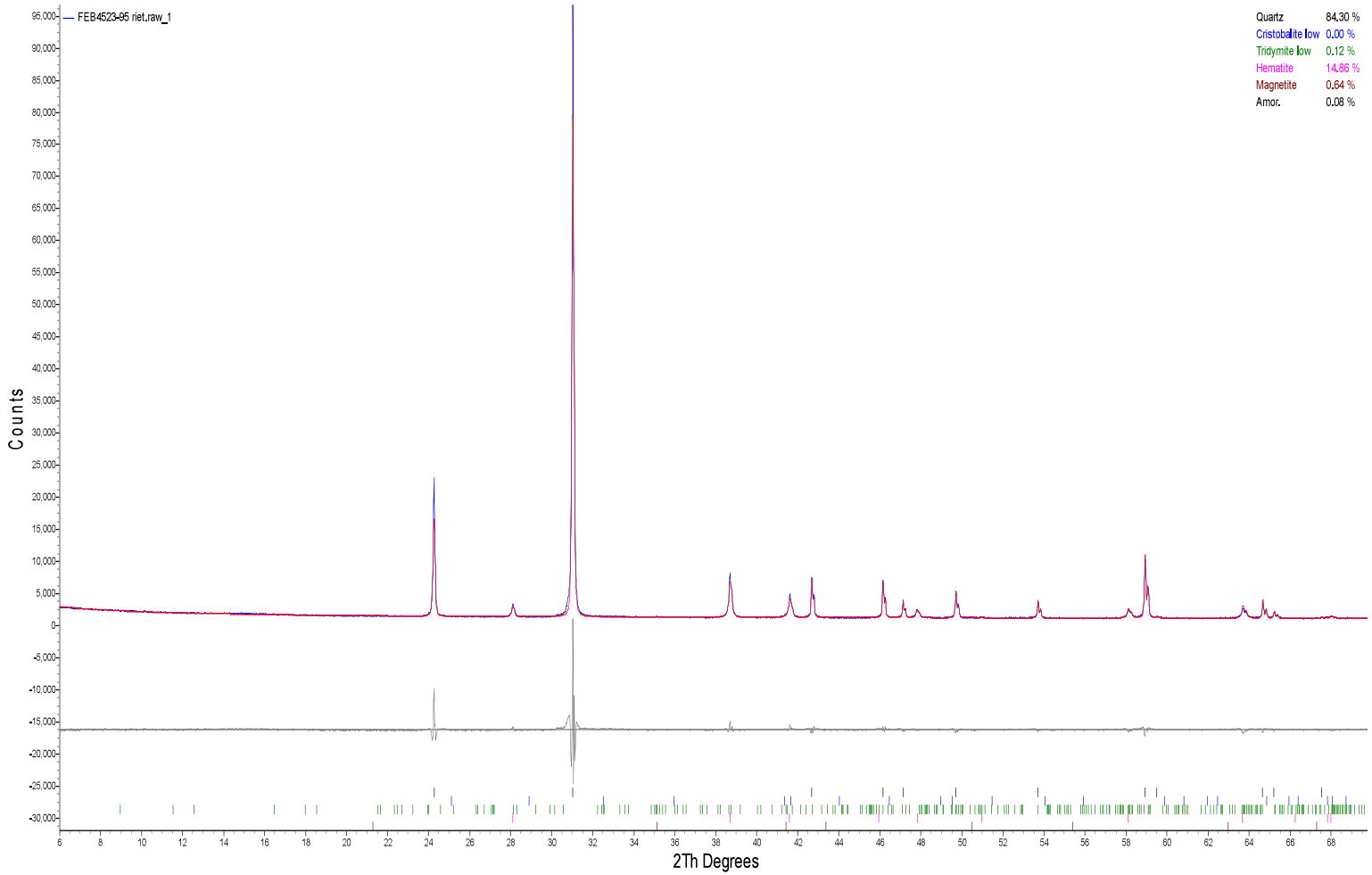
BL-10-43-AMP-130-135



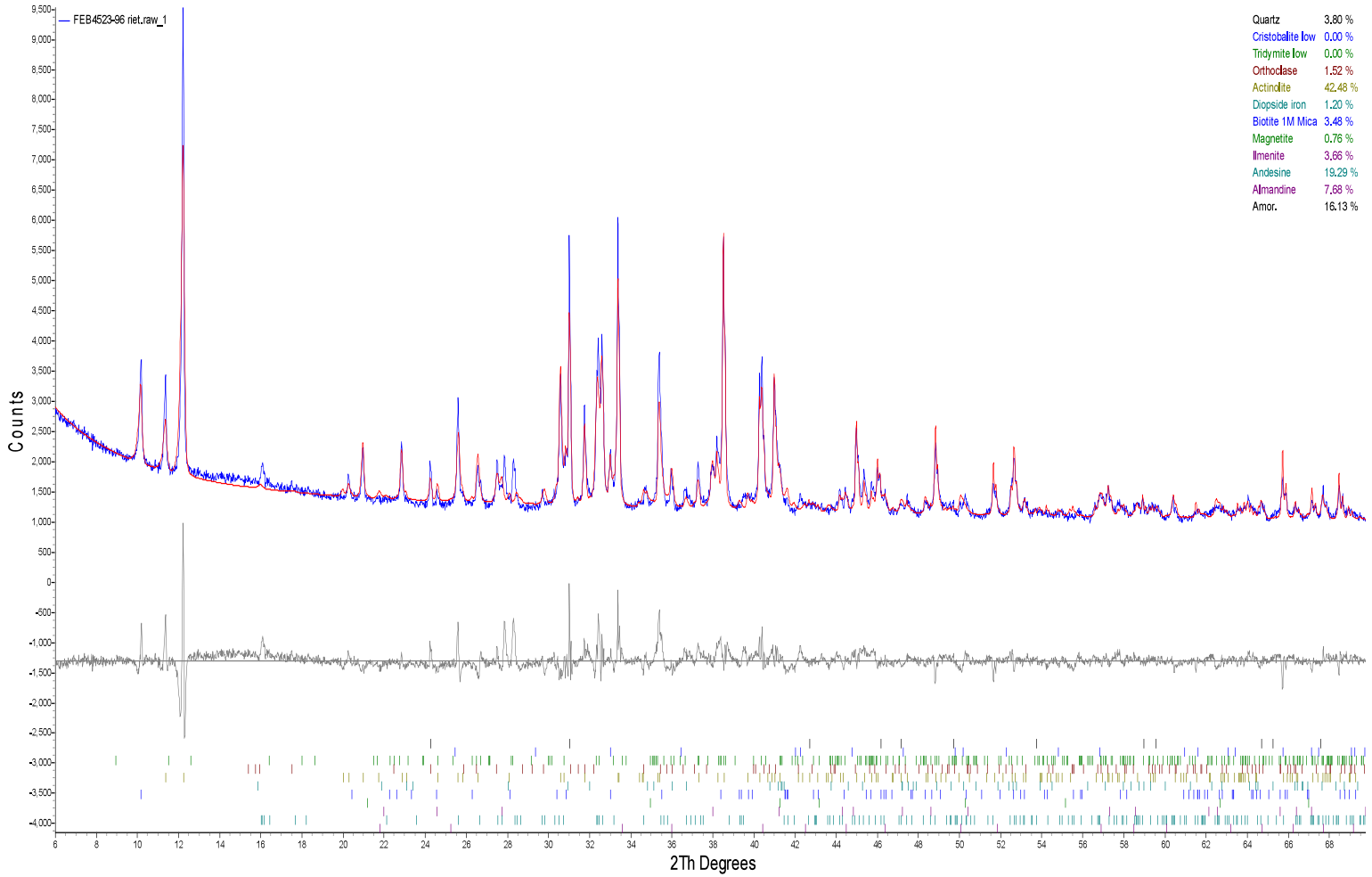
BL-10-43-AMP-130-135



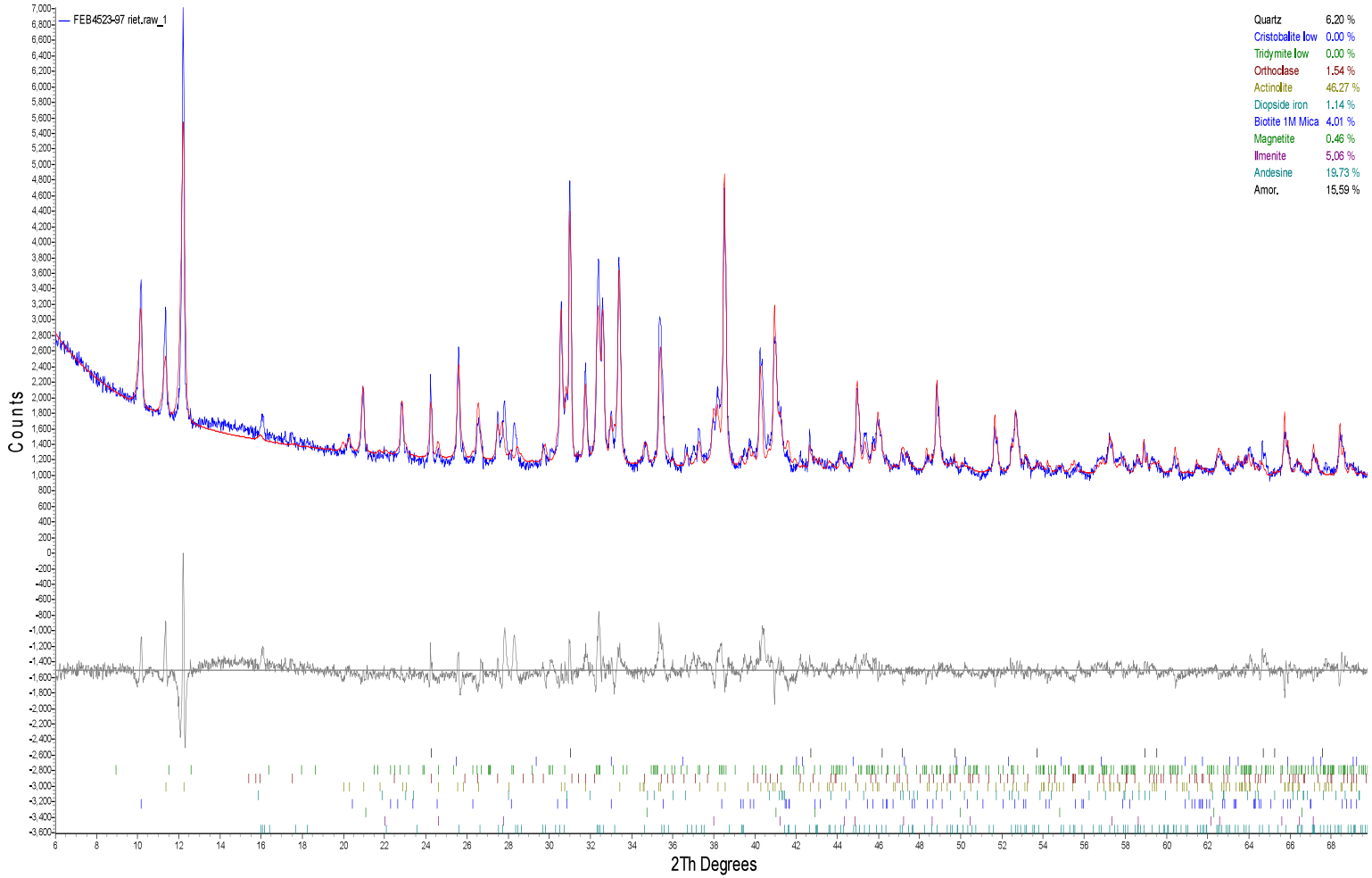
BL-10-43-QRIF-243-248



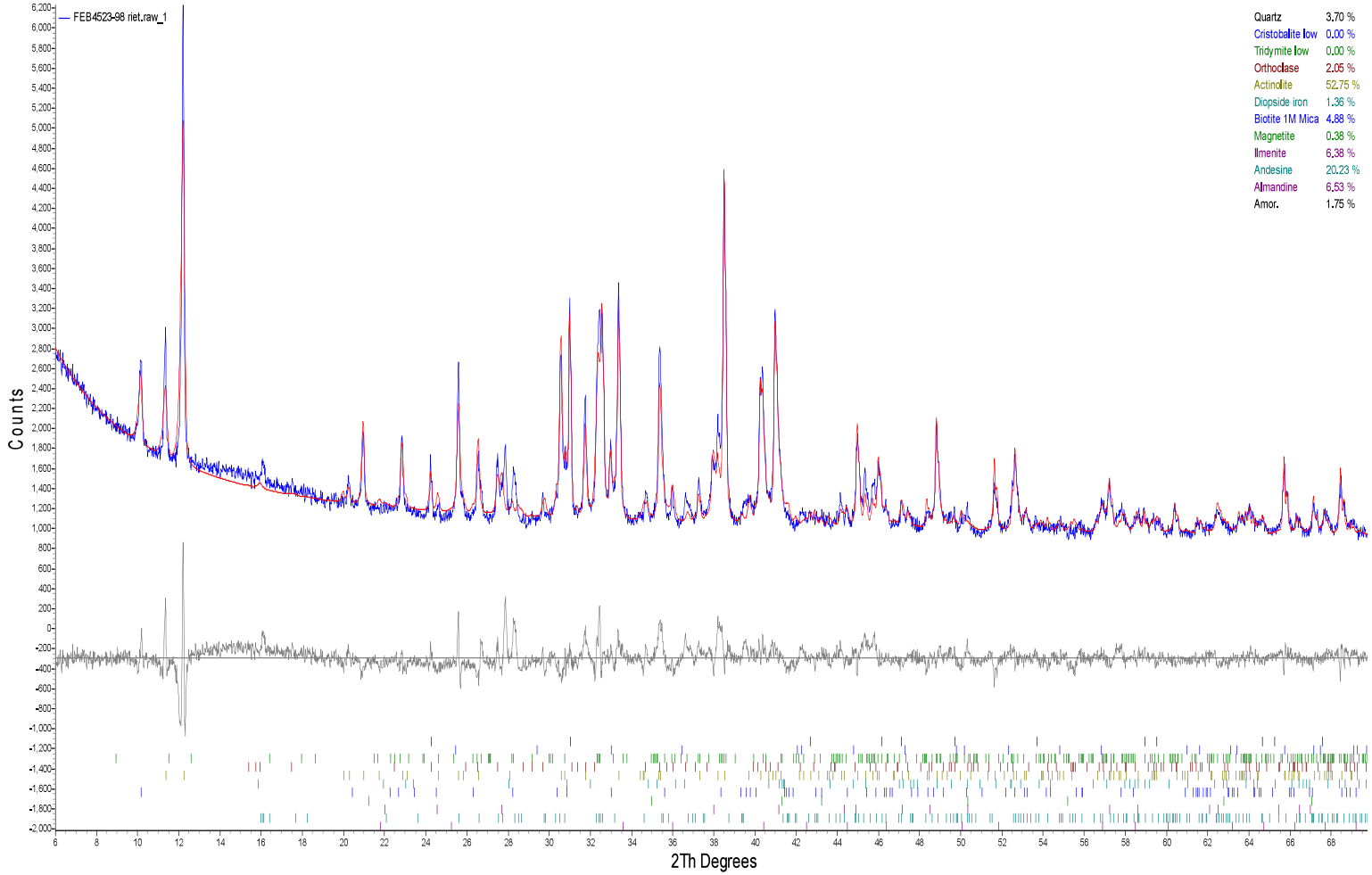
BL-10-44-AMP-10-15



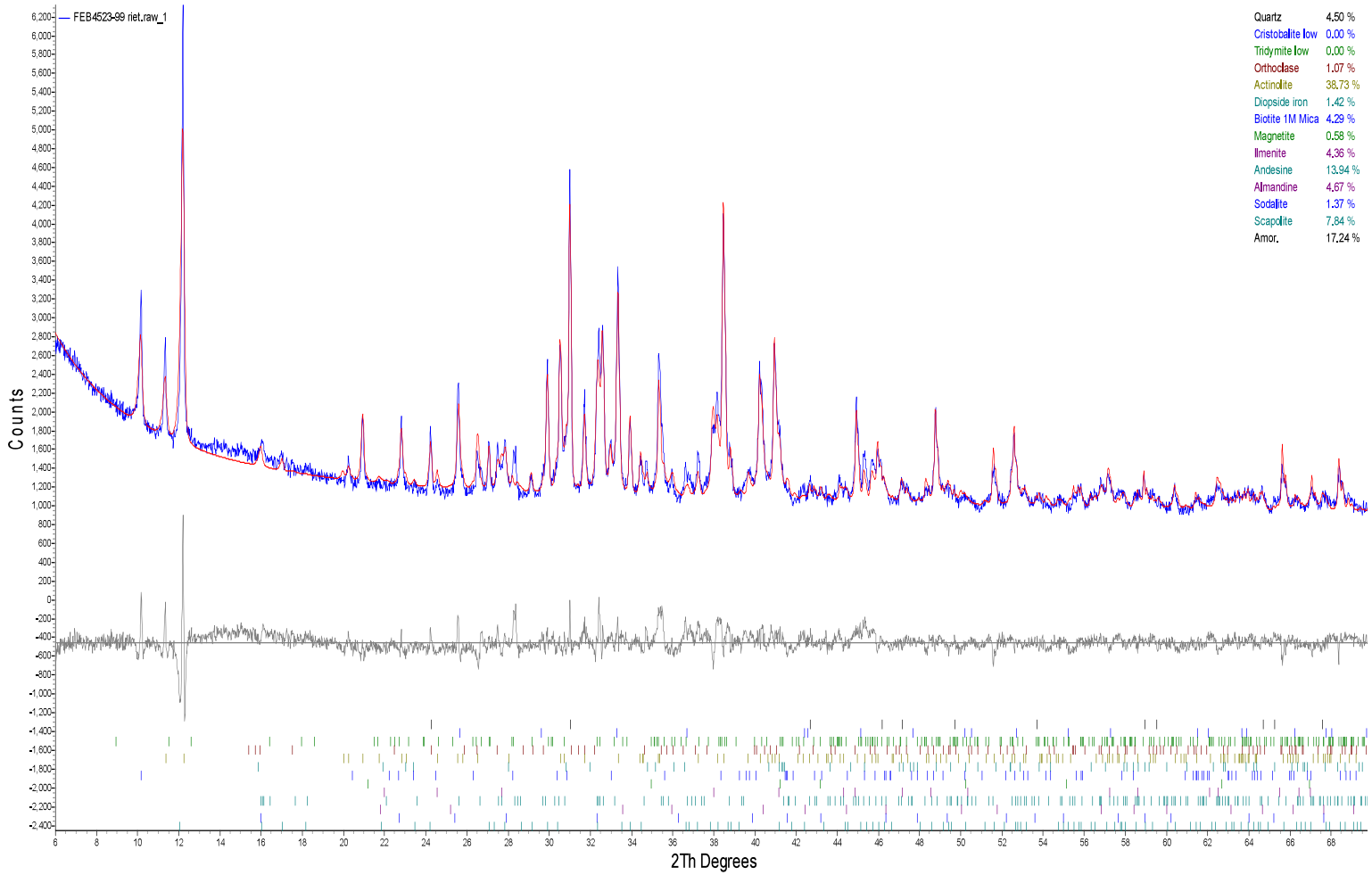
BL-10-44-AMP-60-65



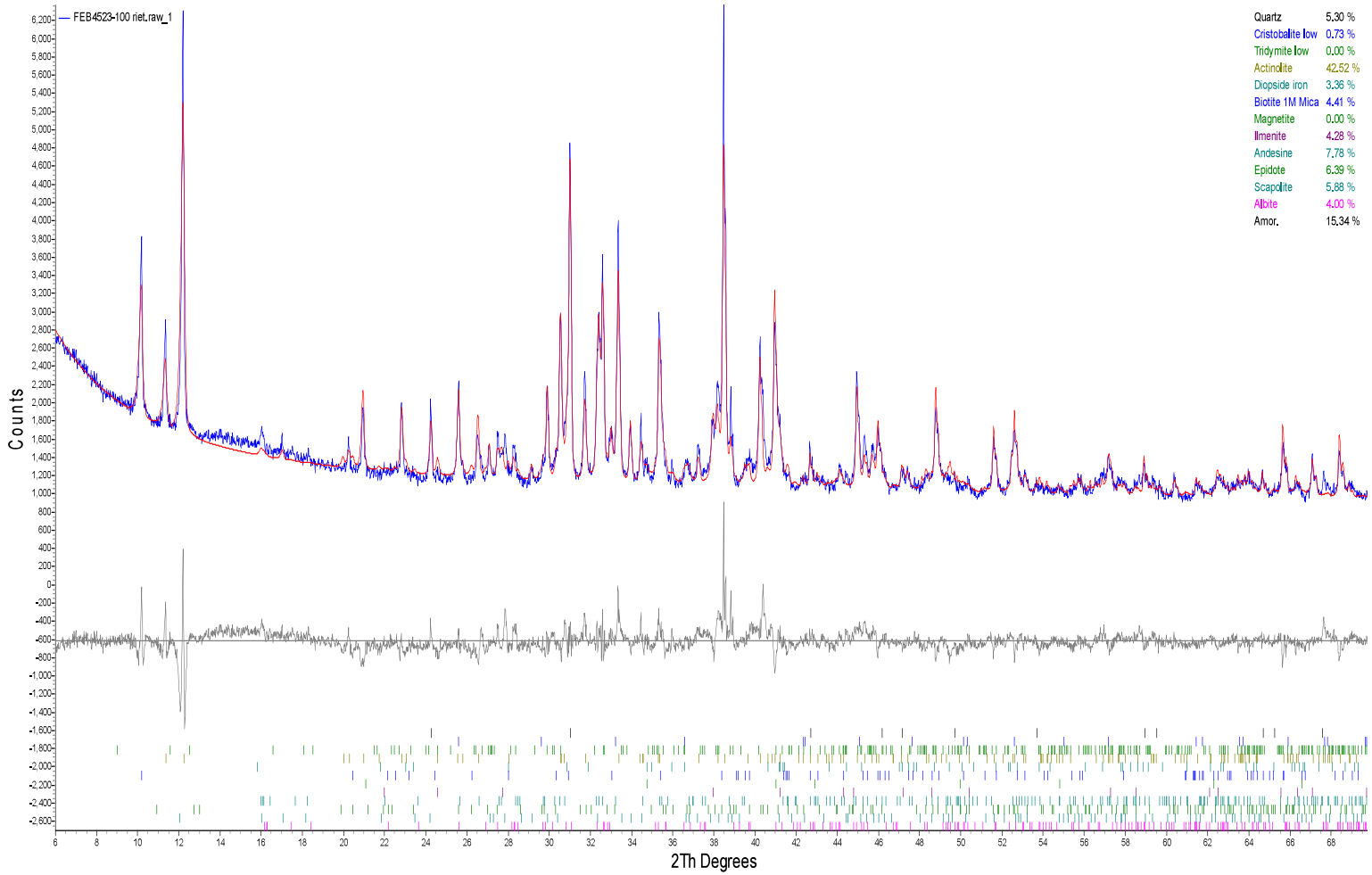
BL-10-44-AMP-190-195



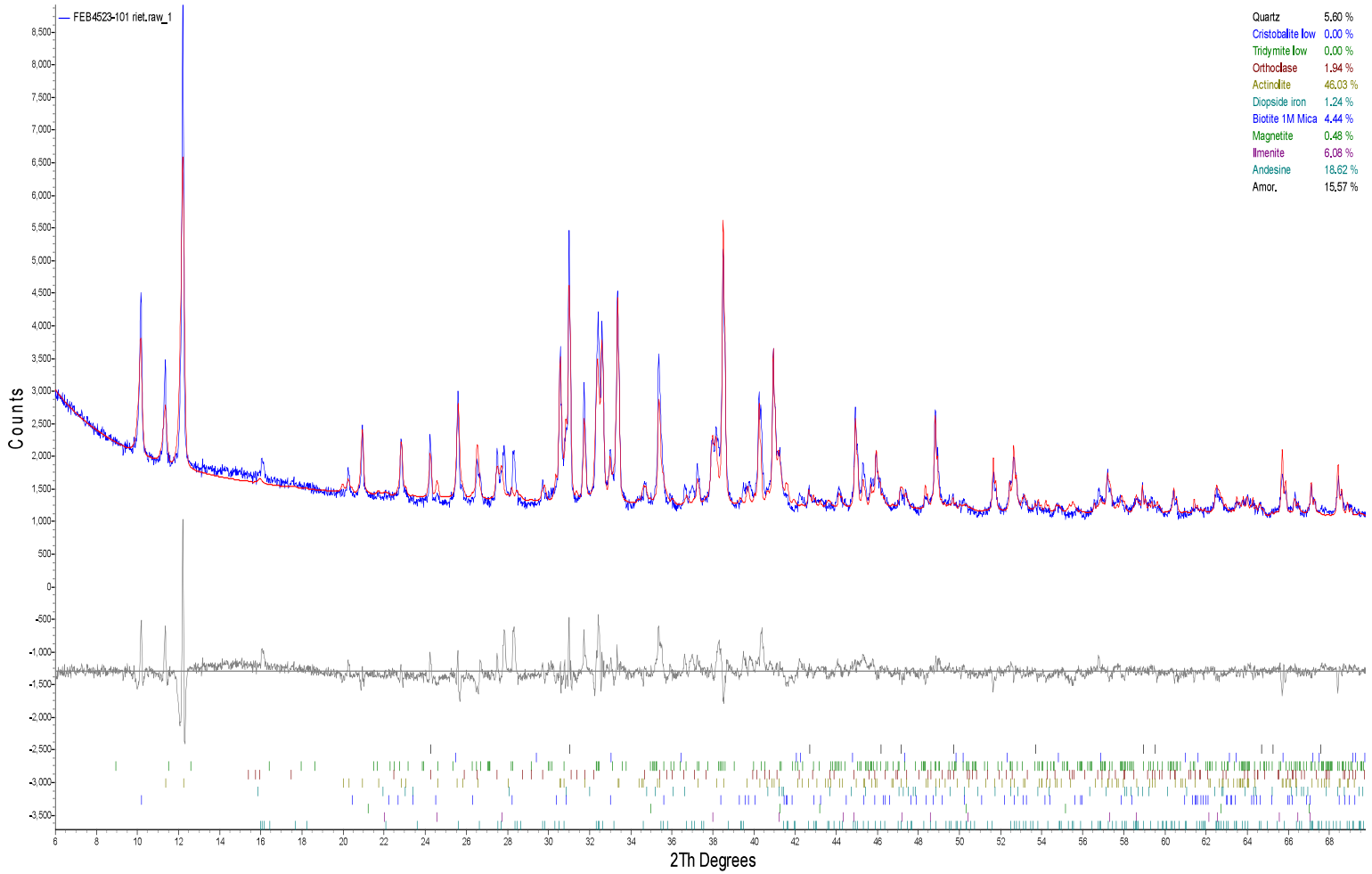
BL-10-44-AMP-245-250



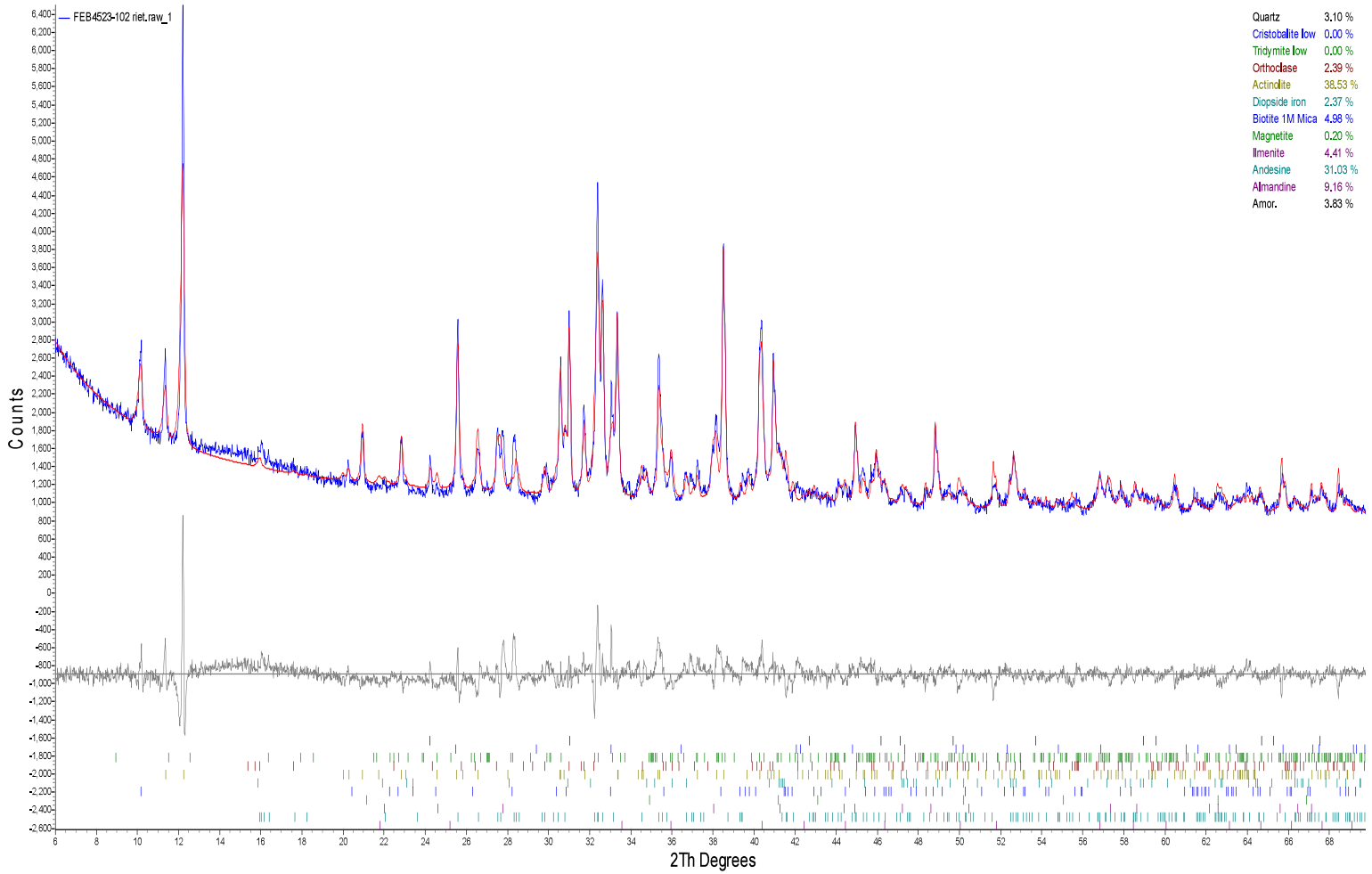
BL-10-44-AMP-305-310



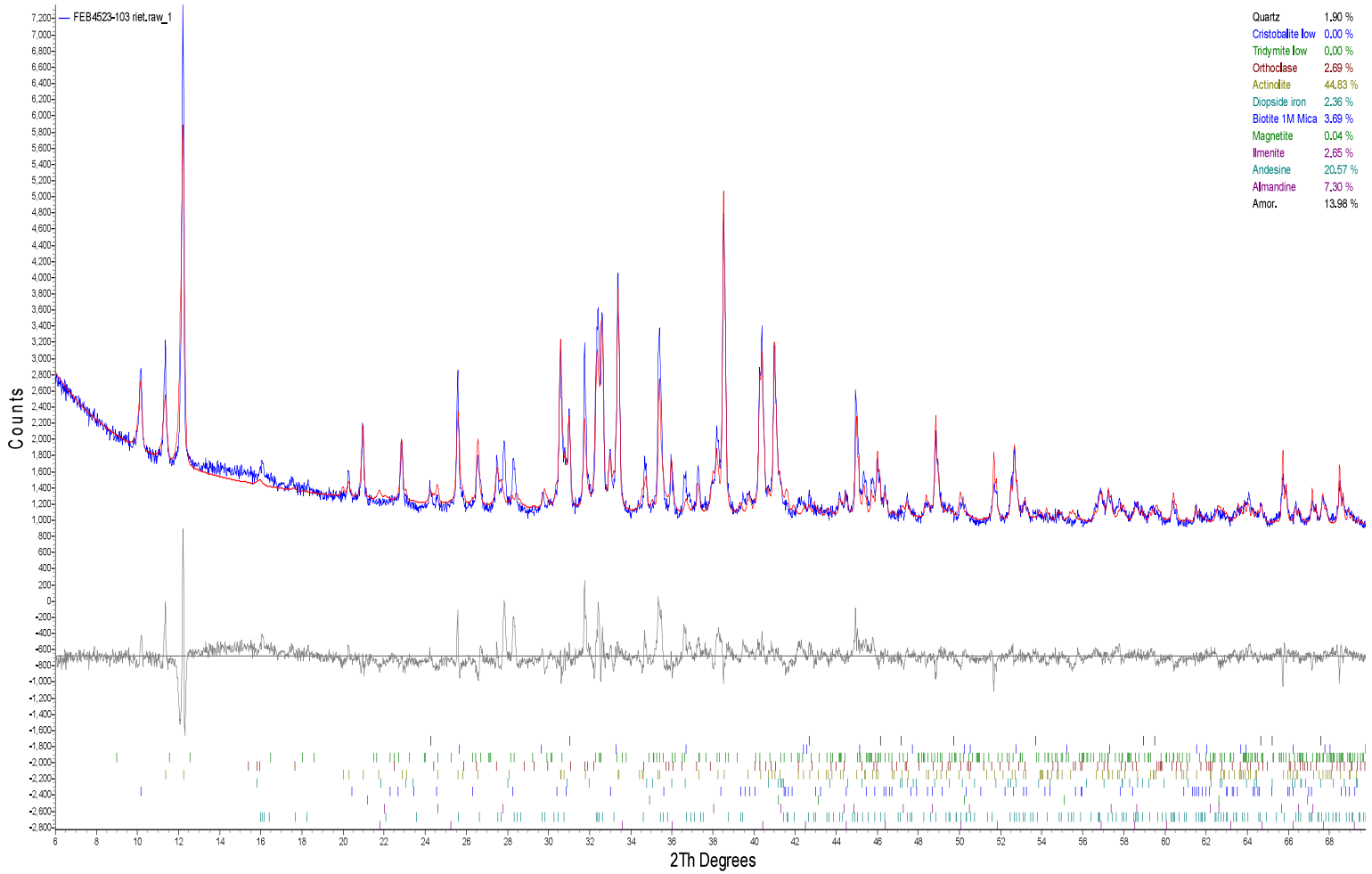
BL-10-44-AMP-355-360



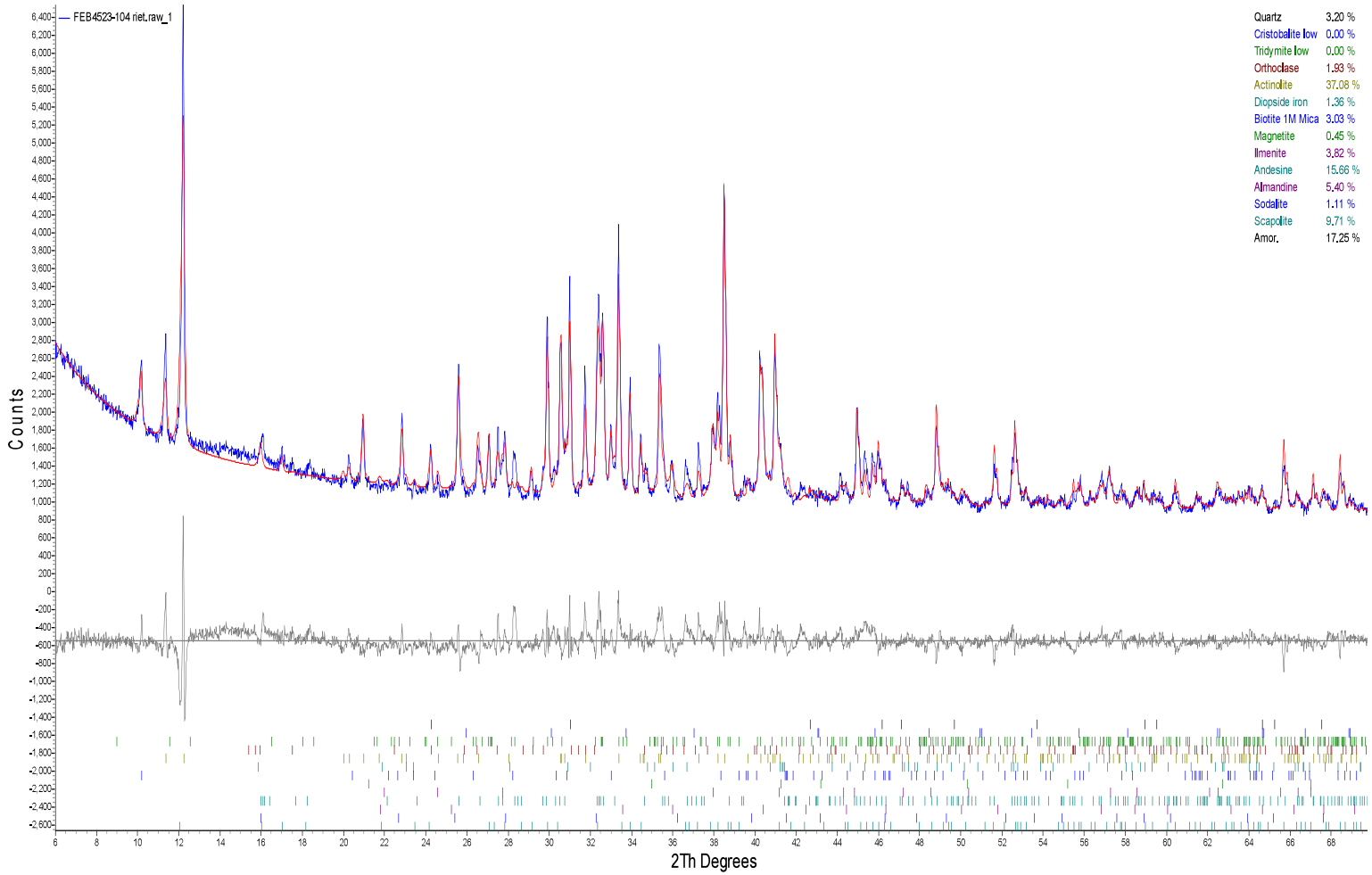
BL-10-68-AMP-10-15



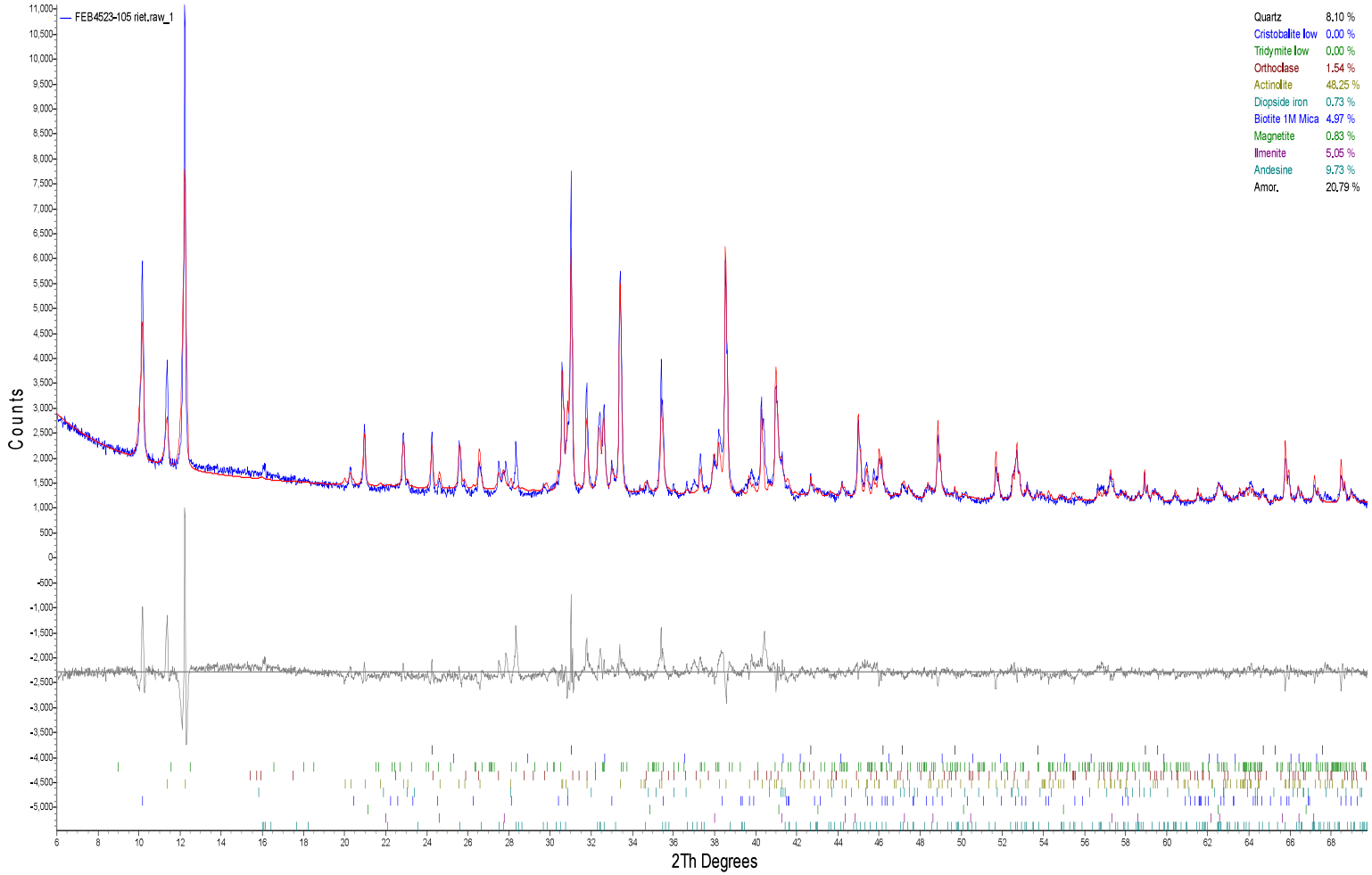
BL-10-68-AMP-65-70



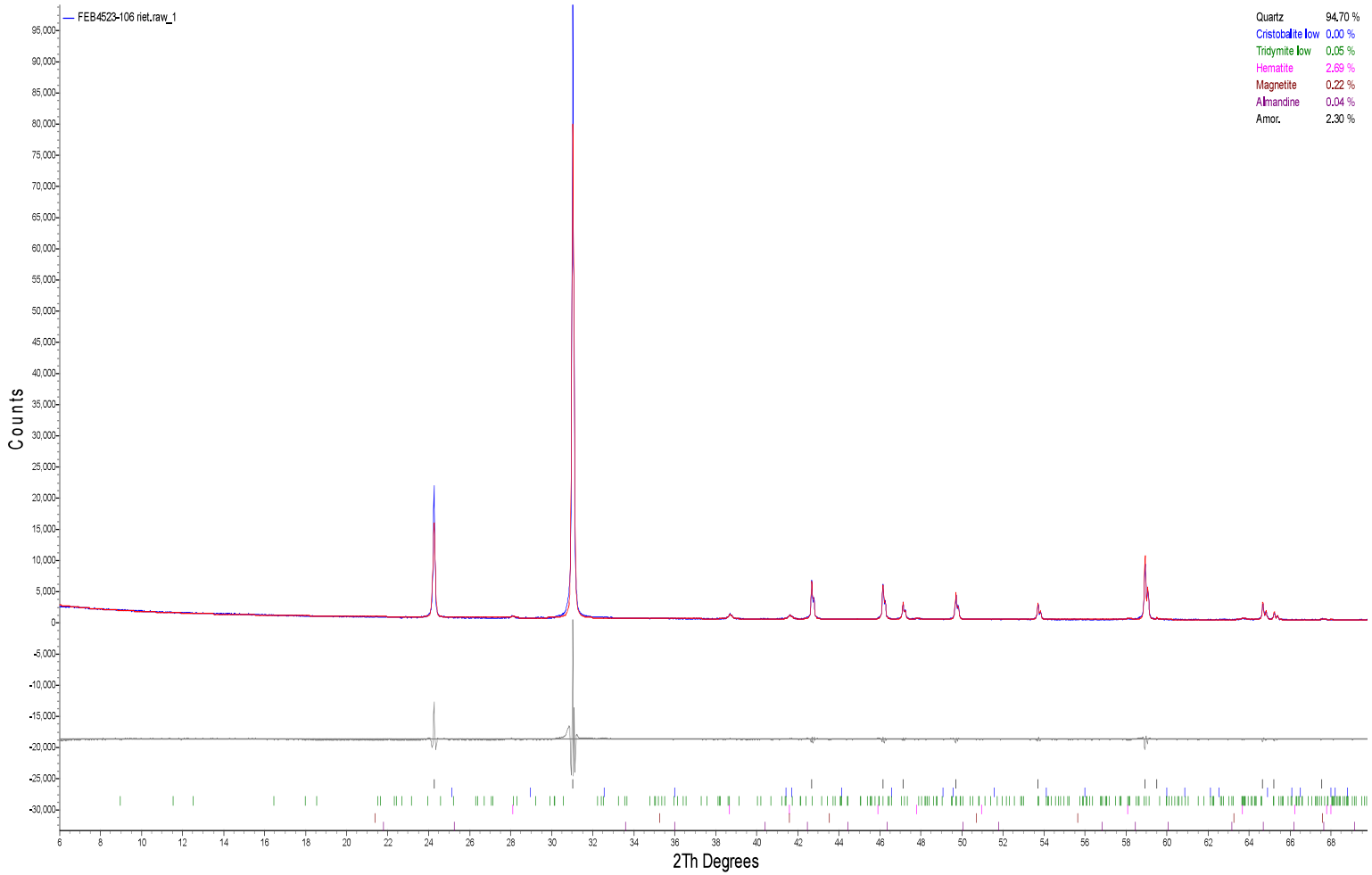
BL-10-68-AMP-115-120



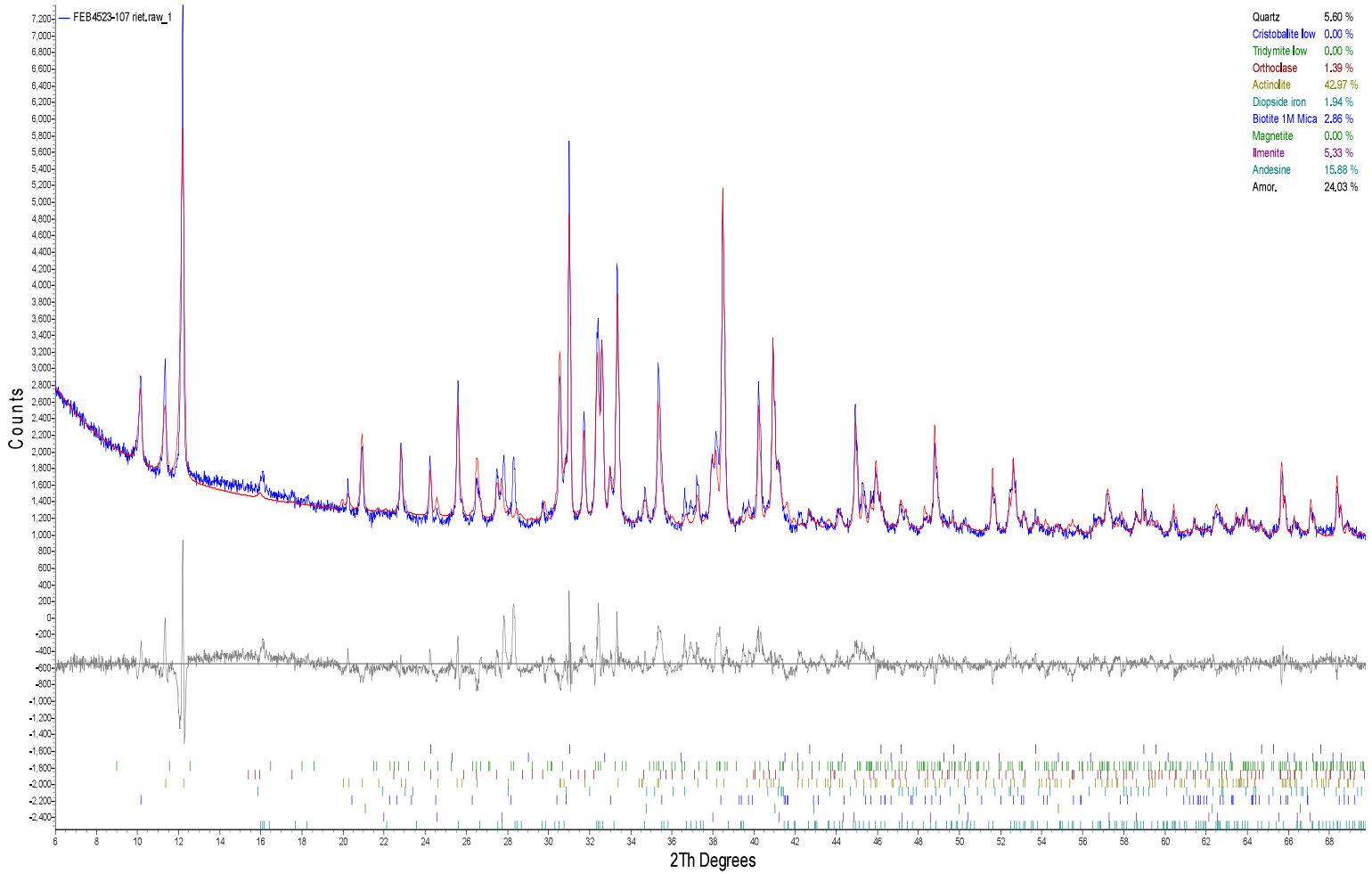
BL-10-68-AMP-155-160



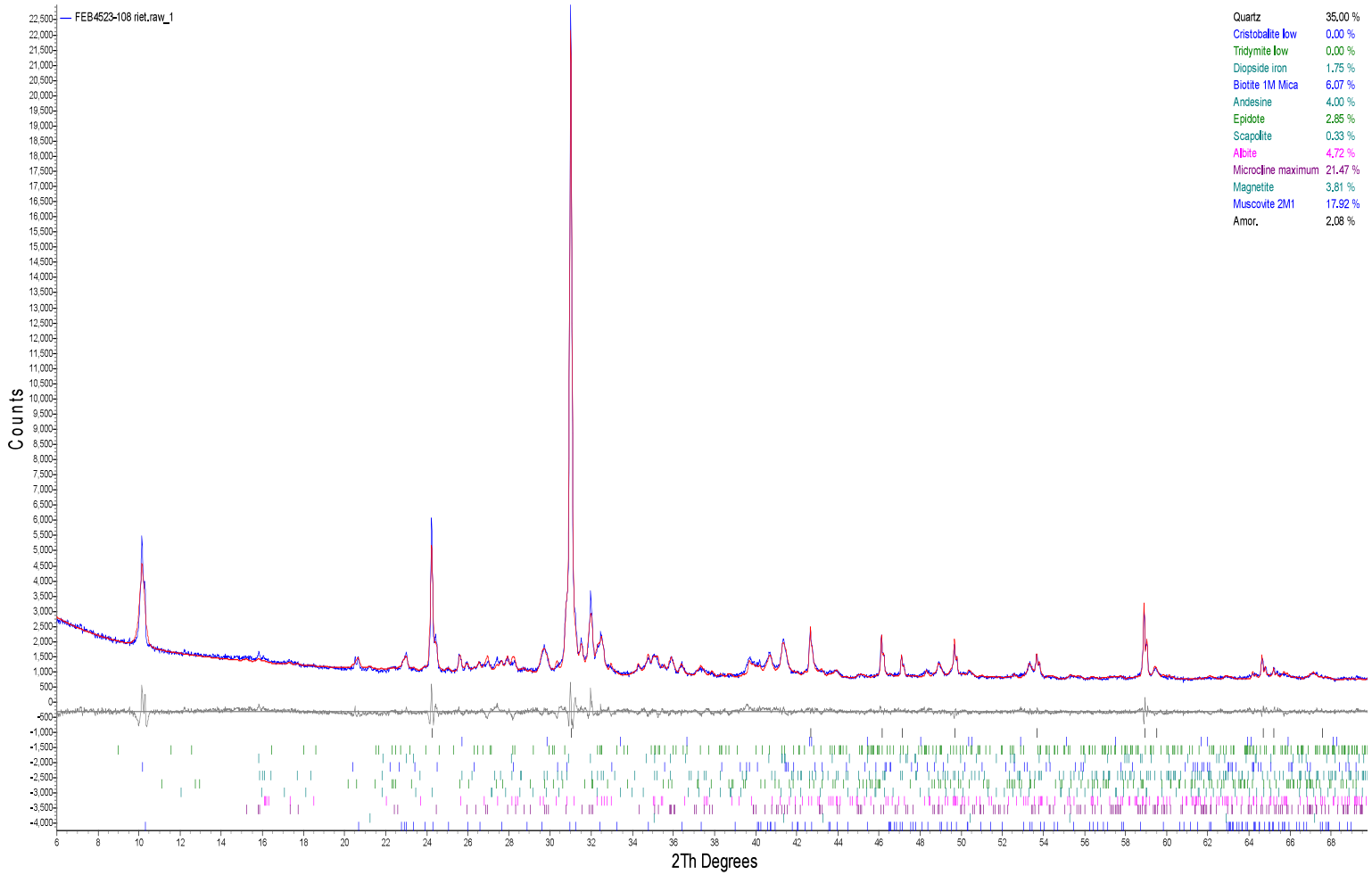
BL-10-68-QR-163-168



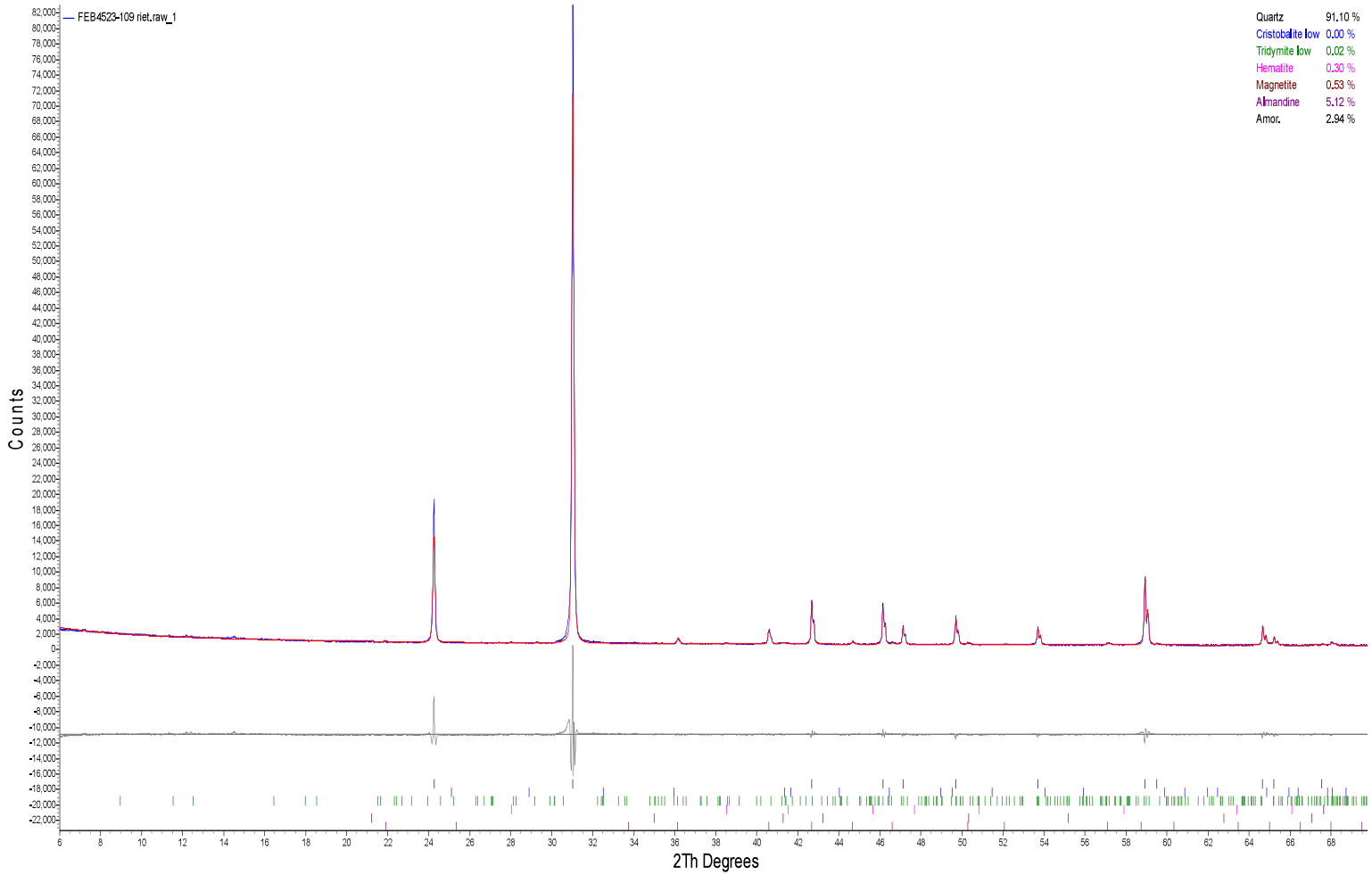
BL-10-75-AMP-115-120



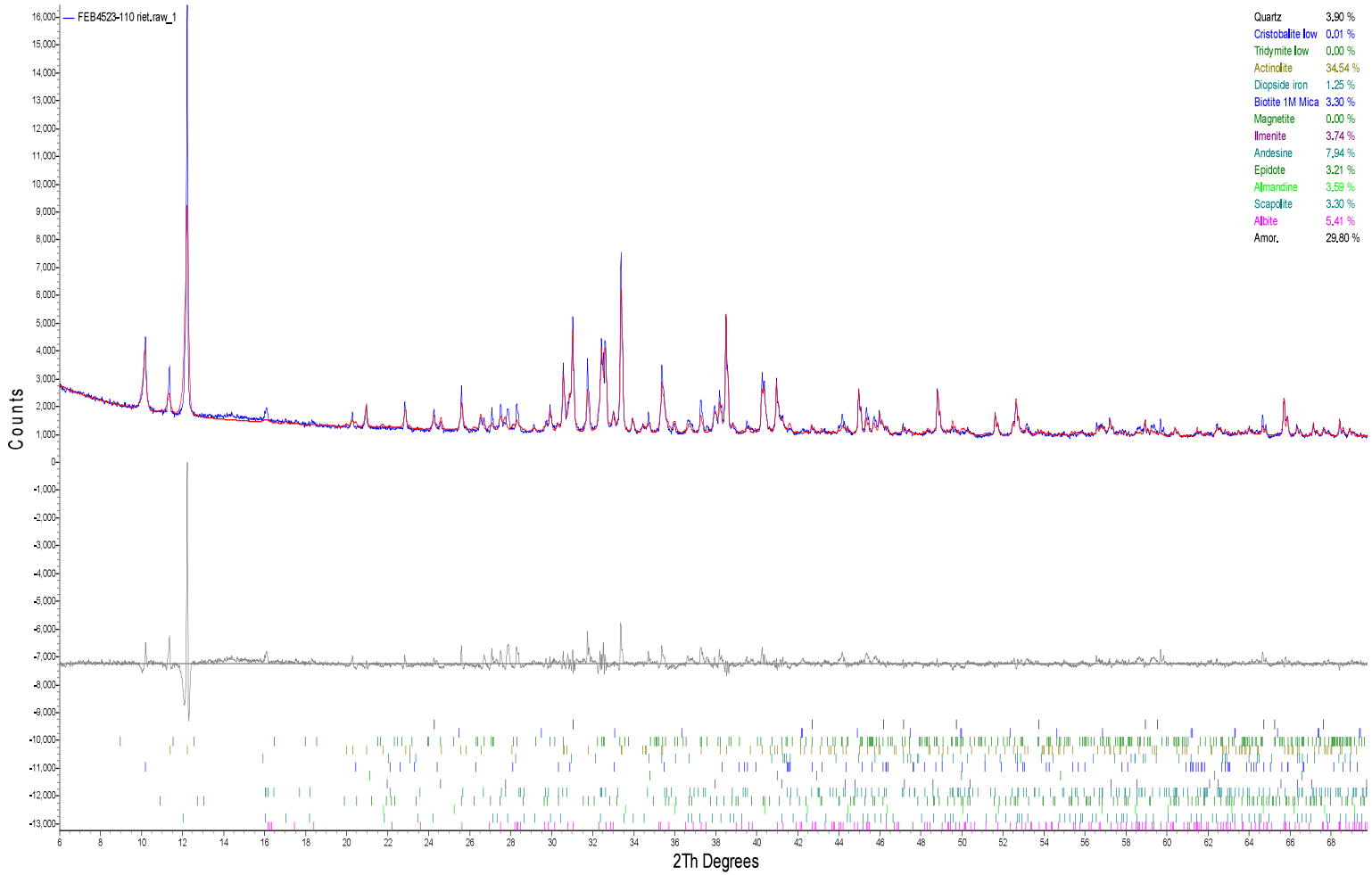
BL-10-75-GN-260-265



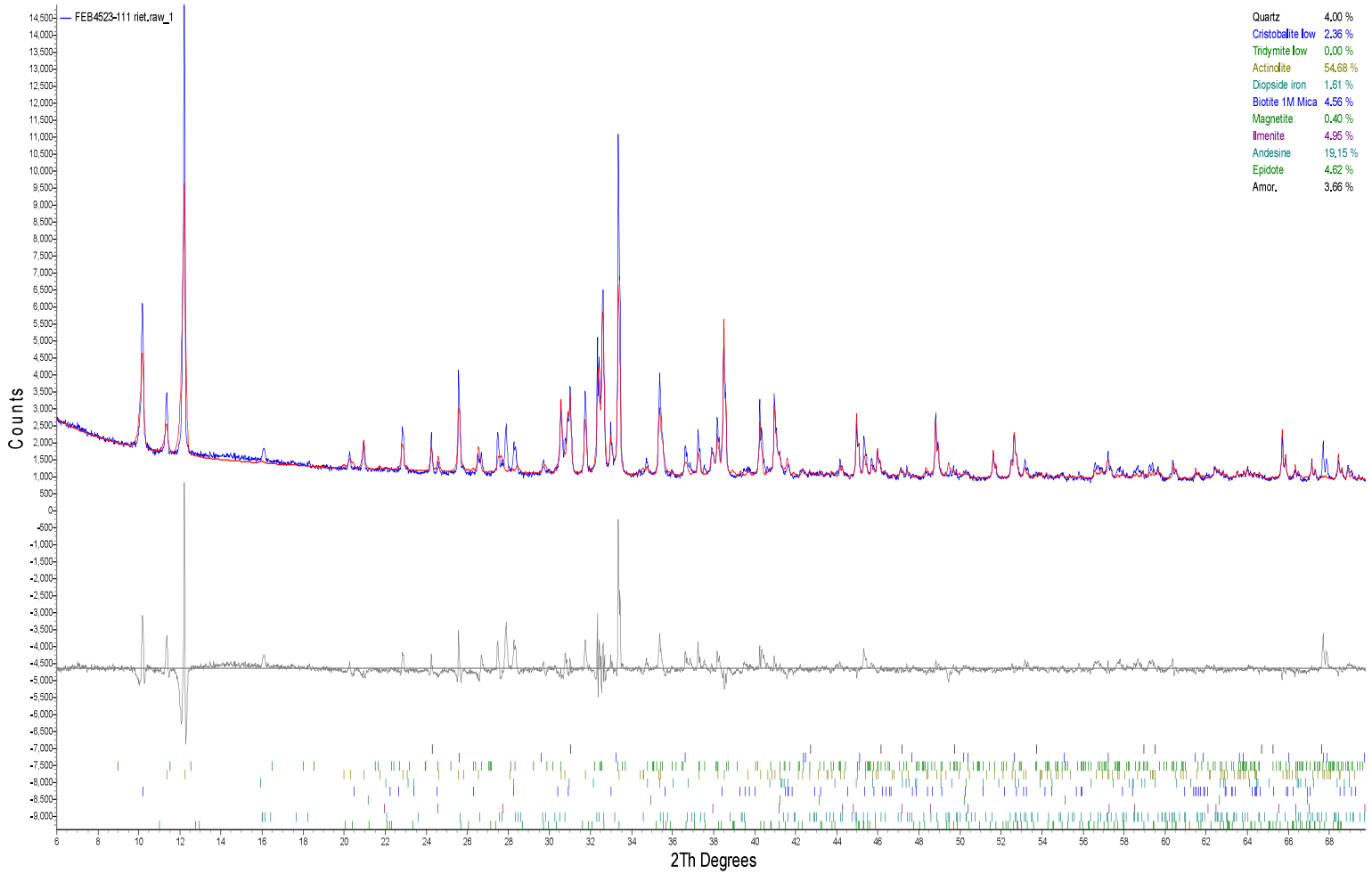
BL-10-81-QR-77-82



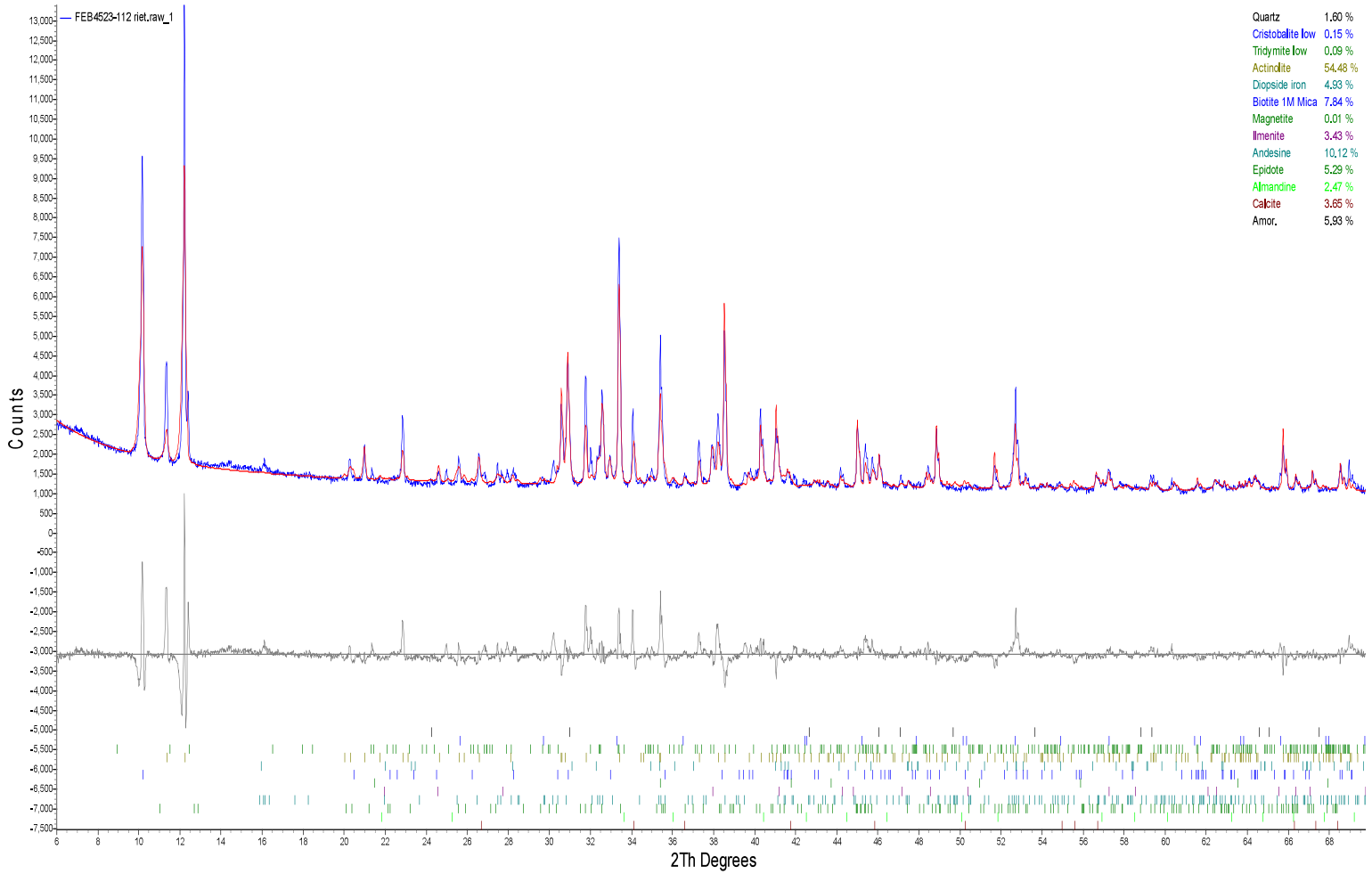
BL-12-06-AMP-65-70



BL-12-06-AMP-95-100



BL-12-06-AMP-140-145



Quantitative X-Ray Diffraction by Rietveld Refinement

Report Prepared for:	*Environmental Services*
Project Number/ LIMS No.	*Custom XRD/MI4523-FEB22*
Sample Receipt:	*February 17, 2022*
Sample Analysis:	*April 22, 2022*
Reporting Date:	*May 20, 2022*

Instrument:	BRUKER AXS D8 Advance Diffractometer
Test Conditions:	Co radiation, 35 kV, 40 mA Regular Scanning: Step: 0.02°, Step time: 1s, 2θ range: 6-70°
Interpretations :	PDF2/PDF4 powder diffraction databases issued by the International Center for Diffraction Data (ICDD). DiffracPlus Eva and Topas software.
Detection Limit :	0.5-2%. Strongly dependent on crystallinity.

Contents:

1) Method Summary
2) Quantitative XRD Results
3) XRD Pattern(s)

Zhihai (Adrian) Zhang, Ph.D.
Junior Mineralogist

Huyun Zhou, Ph.D., P.Geo.
Senior Mineralogist

ACCREDITATION: SGS Natural Resources Lakefield is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025 for specific tests as listed on our scope of accreditation, including geochemical, mineralogical and trade mineral tests. To view a list of the accredited methods, please visit the following website and search SGS Canada Inc. - Minerals: https://www.scc.ca/en/search/palcan.

Method Summary

The Rietveld Method of Mineral Identification by XRD (ME-LR-MIN-MET-MN-D05) method used by SGS Natural Resources is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025.

Mineral Identification and Interpretation:

Mineral identification and interpretation involves matching the diffraction pattern of an unknown material to patterns of single-phase reference materials. The reference patterns are compiled by the Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Center for Diffraction Data (JCPDS-ICDD) database and released on software as Powder Diffraction Files (PDF).

Interpretations do not reflect the presence of non-crystalline and/or amorphous compounds, except when internal standards have been added by request. Mineral proportions may be strongly influenced by crystallinity, crystal structure and preferred orientations. Mineral or compound identification and quantitative analysis results should be accompanied by supporting chemical assay data or other additional tests.

Quantitative Rietveld Analysis:

Quantitative Rietveld Analysis is performed by using Topas 4.2 (Bruker AXS), a graphics based profile analysis program built around a non-linear least squares fitting system, to determine the amount of different phases present in a multicomponent sample. Whole pattern analyses are predicated by the fact that the X-ray diffraction pattern is a total sum of both instrumental and specimen factors. Unlike other peak intensity-based methods, the Rietveld method uses a least squares approach to refine a theoretical line profile until it matches the obtained experimental patterns.

Rietveld refinement is completed with a set of minerals specifically identified for the sample. Zero values indicate that the mineral was included in the refinement calculations, but the calculated concentration was less than 0.05wt%. Minerals not identified by the analyst are not included in refinement calculations for specific samples and are indicated with a dash.

DISCLAIMER: This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

WARNING: The sample(s) to which the findings recorded herein (the "Findings") relate was(were) drawn and / or provided by the Client or by a third party acting at the Client's direction. The Findings constitute no warranty of the sample's representativeness of any goods and strictly relate to the sample(s). The Company accepts no liability with regard to the origin or source from which the sample(s) is/are said to be extracted.

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-06-AMP-190-195 FEB4523-113 (wt %)	BL-12-06-AMP-240-245 FEB4523-114 (wt %)	BL-12-06-AMP-270-275 FEB4523-115 (wt %)	BL-12-07-AMP-33-38 FEB4523-116 (wt %)	BL-12-07-GN-48-54 FEB4523-117 (wt %)	BL-12-07-GN-85-90 FEB4523-118 (wt %)	BL-12-07-QR-130-135 FEB4523-119 (wt %)	BL-12-07-WSIF-173-177 FEB4523-120 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	7.8	5.3	6.8	8.6	43.0	30.3	90.4	65.7
Cristobalite	0.9	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	12.3	18.8	16.0	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Potassium-feldspar	1.4	0.0	2.1	4.0	23.2	2.2	0.0	0.0
Amphibole	47.2	55.9	35.6	13.8	-	-	-	17.5
Mica	5.2	4.1	4.3	12.9	29.6	36.9	4.9	1.6
Magnetite	0.0	0.0	0.2	0.5	1.1	0.6	0.1	0.4
Ilmenite	5.4	5.5	3.7	0.1	-	-	-	-
Almandine	2.1	4.7	2.0	-	-	4.5	1.2	-
Calcite	0.0	-	-	-	-	-	-	0.0
Ankerite	-	-	-	-	-	-	-	1.1
Diopside	1.9	4.0	2.9	1.4	-	-	-	-
Epidote	-	-	-	5.0	-	-	-	-
Hematite	-	-	-	-	0.1	0.3	0.1	-
Maghemite	-	-	-	-	-	0.6	-	-
Chlorite	-	-	-	-	-	3.4	-	0.2
Talc	-	-	-	-	-	-	-	1.2
Perovskite	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorapatite	-	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Olivine	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	15.9	1.4	26.1	44.4	3.0	21.0	3.2	12.0
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

1 - Zero values indicate that the mineral was included in the refinement, but the calculated concentration is below a measurable value. Dashes indicate that the mineral was not identifed by the analyst and not included in the refinement calculation for the sample.

2 - $Si0_2$ (alpha quartz) determination is made by semi-quantitative X-ray diffraction analysis using the standard addition procedure; for the sample containing high amounts of alpha quartz (>80%), the determination is made by Rietveld refinement method directly. Accuracy is +/- 10% relative to the reported value; the detection limit is 0.1%.

3 - SiO_2 (cristobalite and tridymite), the determination is made by Rietveld quantitative X-ray diffraction analysis using the alpha quartz determined above as known value.

4 - The weight percent quantities indicated have been normalized to a sum of 100%.

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-09-GN-20-25 FEB4523-121 (wt %)	BL-12-09-AMP-50-55 FEB4523-122 (wt %)	BL-12-09-AMP-100-105 FEB4523-123 (wt %)	BL-12-09-GN-110-115 FEB4523-124 (wt %)	BL-12-09-GN-145-150 FEB4523-125 (wt %)	BL-12-10-GN-75-80 FEB4523-126 (wt %)	BL-12-10-GN-125-130 FEB4523-127 (wt %)	BL-12-10-QR-160-165 FEB4523-128 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	30.4	3.4	2.4	29.1	39.2	47.7	38.4	91.9
Cristobalite	0.2	0.2	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Other Minerals								
Plagioclase	7.6	15.0	8.4	9.1	20.6	1.2	0.6	0.0
Potassium-feldspar	0.0	1.8	1.8	17.1	6.7	2.1	2.2	0.0
Amphibole	-	41.8	28.9	-	-	-	-	-
Mica	29.8	3.2	3.4	30.8	30.1	39.3	34.4	0.0
Magnetite	1.3	0.0	0.1	0.5	1.8	0.7	0.6	1.3
Ilmenite	-	2.1	0.7	-	-	-	-	-
Almandine	-	-	3.1	1.6	-	5.3	5.0	3.2
Calcite	0.5	-	-	0.9	-	-	-	1.4
Ankerite	-	-	-	-	-	-	-	-
Diopside	-	3.0	1.4	-	-	-	-	-
Epidote	-	3.3	3.1	-	-	-	-	-
Hematite	-	-	-	-	-	-	-	-
Maghemite	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorite	-	-	2.1	-	-	-	-	-
Talc	1.1	-	-	0.5	-	-	-	-
Perovskite	-	0.5	0.9	-	-	-	-	-
Fluorapatite	-	2.8	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Olivine	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	29.0	22.8	43.4	10.3	1.3	3.7	18.8	2.1
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-10-WSIF-200-205 FEB4523-129 (wt %)	BL-12-10-WSIF-220-225 FEB4523-130 (wt %)	BL-12-14-AMP-116-121 FEB4523-131 (wt %)	BL-12-14-AMP-155-160 FEB4523-132 (wt %)	BL-12-16-AMP-10-15 FEB4523-133 (wt %)	BL-12-16-AMP-65-70 FEB4523-134 (wt %)	BL-12-16-AMP-120-125 FEB4523-135 (wt %)	BL-12-16-AMP-170-175 FEB4523-136 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	55.8	54.4	6.0	5.2	2.1	5.0	1.3	4.5
Cristobalite	0.0	0.0	0.3	0.2	0.4	0.6	0.8	0.5
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	0.0	0.0	9.5	10.3	11.3	18.9	21.5	14.3
Potassium-feldspar	3.0	0.0	1.6	1.8	1.7	2.5	2.9	2.0
Amphibole	31.7	28.9	41.6	36.7	32.5	52.1	36.6	40.5
Mica	0.1	4.5	5.5	5.7	3.3	3.3	2.8	4.3
Magnetite	2.9	4.6	0.0	0.0	0.7	0.4	1.1	1.2
Ilmenite	-	-	5.6	3.5	0.7	1.4	0.8	3.4
Almandine	-	-	-	4.1	3.2	2.5	5.7	2.0
Calcite	4.0	5.4	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	2.1	-	-	-	-	-	-
Diopside	-	-	4.8	2.0	4.0	4.8	4.1	2.7
Epidote	-	-	2.8	1.8	0.7	1.2	1.1	0.6
Hematite	-	-	-	-	-	-	-	-
Maghemite	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorite	-	-	-	-	-	-	-	-
Talc	-	-	-	-	-	-	-	-
Perovskite	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorapatite	-	-	3.1	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	15.8	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	0.7	0.9
Olivine	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	2.5	0.1	3.3	28.6	39.3	7.2	20.6	23.0
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-28-AMP-75-80 FEB4523-137 (wt %)	BL-12-28-AMP-140-145 FEB4523-138 (wt %)	BL-12-28-QR-210-215 FEB4523-139 (wt %)	BL-12-29-AMP-115-120 FEB4523-140 (wt %)	BL-12-29-GN-315-320 FEB4523-141 (wt %)	BL-12-31-AMP-100-105 FEB4523-142 (wt %)	BL-12-31-AMP-160-165 FEB4523-143 (wt %)	BL-12-31-AMP-230-235 FEB4523-144 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	3.5	6.9	96.0	3.9	37.0	3.6	2.5	6.9
Cristobalite	0.2	0.2	0.0	0.3	0.0	0.2	0.3	0.4
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	10.7	6.4	0.0	19.6	0.0	10.9	23.5	16.6
Potassium-feldspar	1.0	1.7	0.0	2.5	11.7	2.0	1.8	2.4
Amphibole	30.1	40.1	-	40.3	-	29.5	39.0	40.4
Mica	3.1	3.8	0.0	5.7	48.7	2.7	4.3	4.5
Magnetite	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.6	0.8	0.5
Ilmenite	2.1	2.2	-	4.1	-	2.3	2.1	3.7
Almandine	2.0	0.9	-	0.0	-	1.1	3.6	1.2
Calcite	-	-	-	-	0.3	-	0.7	-
Ankerite	-	-	-	-	0.7	-	-	-
Diopside	2.1	1.9	-	3.2	-	2.6	7.1	2.3
Epidote	1.1	1.4	-	3.2	-	1.9	2.9	1.7
Hematite	-	-	3.5	-	-	-	-	-
Maghemite	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorite	2.8	3.1	-	2.7	-	-	-	-
Talc	-	-	-	-	-	-	-	-
Perovskite	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorapatite	-	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	3.5	-
Sodalite	0.5	0.5	-	1.0	-	1.0	0.7	1.4
Olivine	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	40.8	31.0	0.4	13.3	1.6	41.4	7.2	18.0
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-31-QR-268-273 FEB4523-145 (wt %)	BL-12-38-QRIF-100-105 FEB4523-146 (wt %)	BL-12-38-AMP-130-135 FEB4523-147 (wt %)	BL-12-38-AMP-200-205 FEB4523-148 (wt %)	BL-12-40-GN-75-80 FEB4523-149 (wt %)	BL-12-40-QRMS-90-95 FEB4523-150 (wt %)	BL-12-40-AMP-119-124 FEB4523-151 (wt %)	BL-12-40-GN-130-135 FEB4523-152 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	98.5	91.6	9.0	2.4	23.9	21.5	7.2	23.7
Cristobalite	0.1	0.0	0.1	0.2	1.4	1.2	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	0.0	0.0	12.7	9.3	35.5	28.7	10.0	28.1
Potassium-feldspar	0.0	0.0	1.8	1.4	21.5	13.5	2.6	3.4
Amphibole	-	-	39.4	22.5	-	-	22.2	-
Mica	0.0	0.0	5.8	3.5	13.0	9.4	9.8	12.8
Magnetite	0.0	0.1	0.3	0.1	1.0	0.4	0.1	0.5
Ilmenite	-	-	1.8	0.4	-	-	0.8	-
Almandine	-	-	1.2	0.5	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	0.5	-	-	-
Ankerite	-	0.8	-	-	-	-	-	-
Diopside	-	-	1.9	1.4	2.9	2.3	2.1	2.6
Epidote	-	-	1.7	0.7	-	-	-	-
Hematite	1.2	7.5	-	-	-	-	-	-
Maghemite	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorite	-	-	-	-	-	-	-	-
Talc	-	-	-	-	-	-	-	-
Perovskite	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorapatite	-	-	2.0	1.1	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	0.9	0.4	-	-	-	-
Olivine	-	-	0.7	1.4	-	-	0.3	-
Amorphous Content	0.1	0.0	20.7	54.7	0.4	23.1	44.9	29.0
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-40-AMP-160-165 FEB4523-153 (wt %)	BL-12-40-GN-205-210 FEB4523-154 (wt %)	BL-12-42-AMP-14-19 FEB4523-155 (wt %)	BL-12-42-AMP-60-65 FEB4523-156 (wt %)	BL-12-42-AMP-100-105 FEB4523-157 (wt %)	BL-12-42-AMP-200-205 FEB4523-158 (wt %)	BL-12-42-AMP-295-300 FEB4523-159 (wt %)	BL-12-43-AMP-35-40 FEB4523-160 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	10.0	17.9	5.5	6.3	2.1	0.9	4.0	6.9
Cristobalite	3.4	1.9	0.8	0.3	0.3	1.0	1.3	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	20.7	33.2	13.4	15.1	17.4	7.3	13.2	9.1
Potassium-feldspar	2.7	20.0	1.8	1.8	2.2	1.7	0.9	1.7
Amphibole	40.8	-	21.3	21.1	35.7	39.0	37.3	14.2
Mica	13.2	6.6	4.3	7.5	5.8	3.9	5.1	8.1
Magnetite	0.0	0.2	0.0	0.4	0.5	0.5	0.8	0.1
Ilmenite	1.5	-	1.5	2.2	0.5	0.1	1.5	0.8
Almandine	0.5	-	0.2	-	-	4.6	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	-	-	-	-	-	-	-
Diopside	2.5	3.9	2.9	3.4	1.2	2.0	1.6	2.0
Epidote	-	-	-	-	-	-	-	-
Hematite	-	-	-	-	-	-	-	-
Maghemite	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorite	-	-	-	4.3	2.6	-	-	-
Talc	-	-	-	-	-	-	-	-
Perovskite	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorapatite	-	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Olivine	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	4.6	16.4	48.3	37.7	31.7	38.9	34.4	57.2
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-43-GN-63-68 FEB4523-161 (wt %)	BL-12-43-GN-105-110 FEB4523-162 (wt %)	BL-12-43-GN-160-165 FEB4523-163 (wt %)	BL-12-43-QR-189-194 FEB4523-164 (wt %)	BL-12-56-AMP-45-50 FEB4523-165 (wt %)	BL-12-56-GN-128-133 FEB4523-166 (wt %)	BL-12-61-QRIF-145-150 FEB4523-167 (wt %)	BL-12-61-GN-200-205 FEB4523-168 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	26.2	32.9	32.2	92.0	2.5	37.0	82.0	32.2
Cristobalite	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	0.1	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	15.7	1.8	1.9	0.0	9.1	0.9	0.0	13.0
Potassium-feldspar	0.0	12.0	10.2	0.0	4.5	0.8	0.0	6.3
Amphibole	-	-	-	-	28.5	2.5	-	1.4
Mica	24.6	40.2	33.1	1.5	3.7	46.3	1.6	26.5
Magnetite	0.3	0.0	0.0	1.6	0.9	0.1	1.4	0.5
Ilmenite	-	-	-	-	1.7	-	-	-
Almandine	-	-	-	-	-	2.4	-	0.3
Calcite	-	-	-	2.0	1.9	-	-	-
Ankerite	-	-	-	-	2.1	-	-	-
Diopside	6.6	5.8	6.8	-	1.7	4.0	-	5.1
Epidote	-	-	-	-	3.7	-	-	-
Hematite	-	-	-	1.8	-	-	11.8	-
Maghemite	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorite	-	-	-	0.6	-	-	-	-
Talc	-	-	-	-	-	-	-	-
Perovskite	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorapatite	-	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Olivine	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	26.6	7.3	15.9	0.3	38.7	5.9	3.2	14.7
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

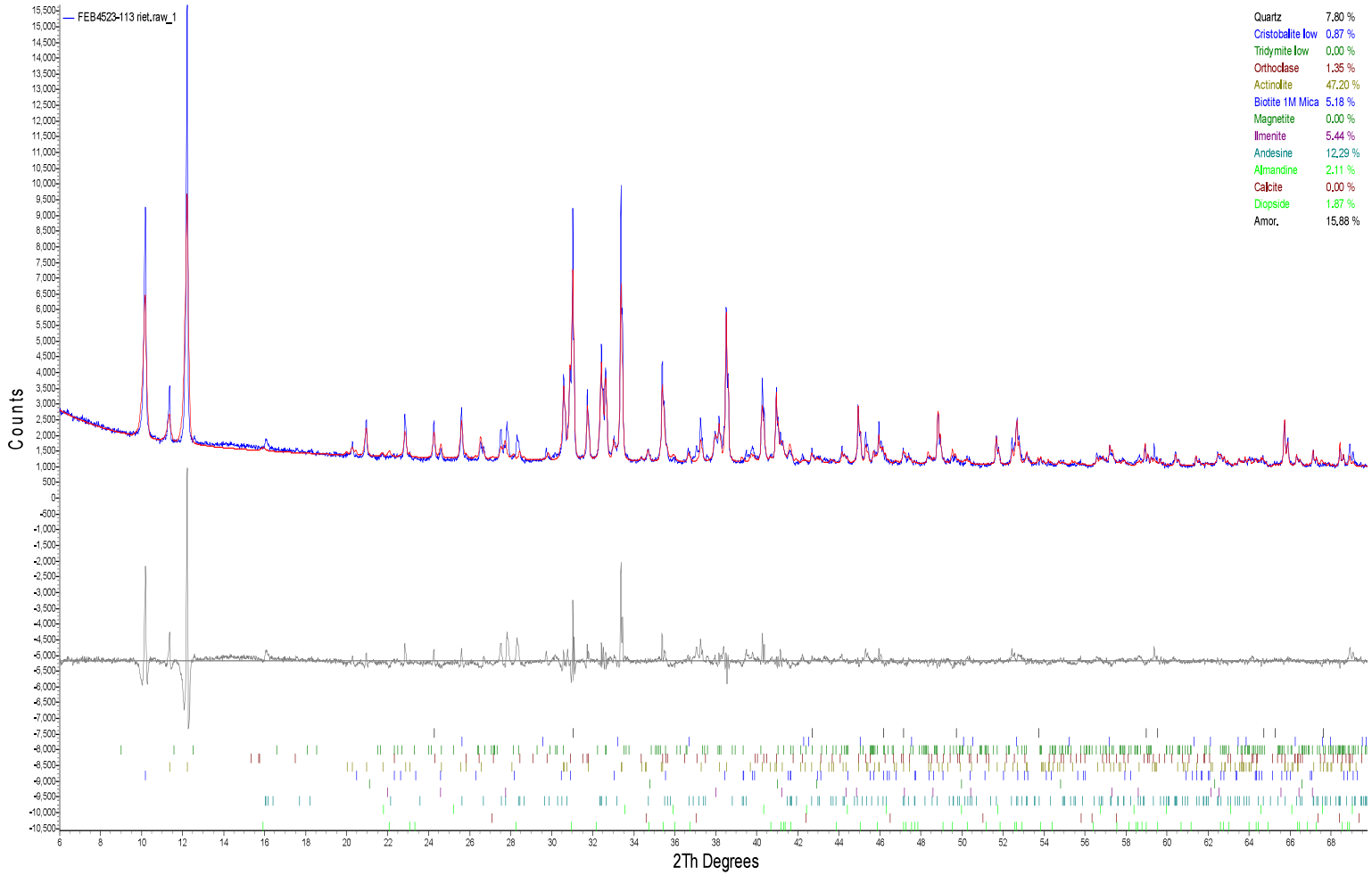
Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-61-AMP-218-223	BL-12-61-GN-245-250	BL-12-70-GN-65-70	BL-12-70-AMP-90-95	BL-12-70-QR-102-103.5	BL-12-70-GN-115-120	BL-12-71-AMP-85-90	BL-12-71-GN-110-115
	FEB4523-169 (wt %)	FEB4523-170 (wt %)	FEB4523-171 (wt %)	FEB4523-172 (wt %)	FEB4523-173 (wt %)	FEB4523-174 (wt %)	FEB4523-175 (wt %)	FEB4523-176 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	4.9	23.0	26.1	1.8	92.0	28.2	2.9	26.7
Cristobalite	0.7	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0
Tridymite	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	10.2	22.7	14.1	9.9	0.0	28.9	17.3	29.8
Potassium-feldspar	1.9	9.6	8.1	2.2	0.0	19.1	0.0	10.9
Amphibole	22.0	2.2	-	30.9	-	-	36.5	-
Mica	2.5	6.8	22.6	2.6	0.6	8.4	3.1	7.7
Magnetite	0.5	0.4	0.7	0.0	2.5	0.4	0.1	0.1
Ilmenite	1.3	-	-	0.5	-	-	0.3	-
Almandine	-	-	-	-	-	-	3.1	-
Calcite	0.3	1.9	0.3	1.3	3.4	2.6	-	1.1
Ankerite	-	-	-	-	-	-	-	-
Diopside	2.6	2.5	-	2.5	-	-	4.8	3.6
Epidote	1.5	-	-	2.1	-	-	-	-
Hematite	-	-	-	-	0.9	-	-	-
Maghemite	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorite	4.1	-	-	5.4	-	-	2.4	4.7
Talc	-	-	-	-	-	-	-	-
Perovskite	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorapatite	-	-	-	-	-	-	-	-
Scapolite	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodalite	-	-	-	-	-	-	-	-
Olivine	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	47.2	30.9	28.0	40.8	0.7	12.4	29.3	15.4
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

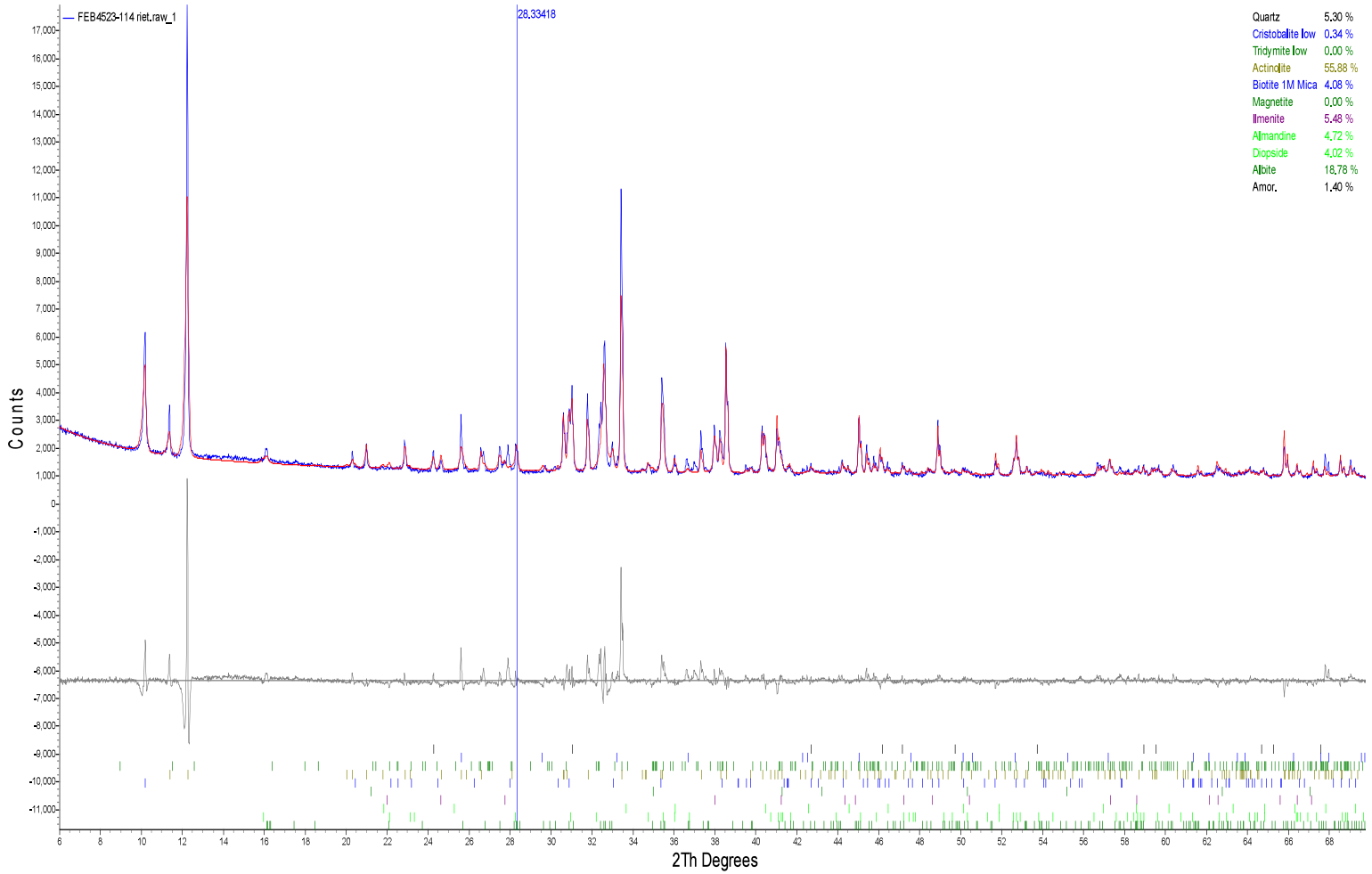
Mineral Formula

Mineral/Compound	Formula
Quartz	SiO_2
Cristobalite	SiO_2
Tridymite	SiO_2
Plagioclase	$(NaSi,CaAl)AlSi_2O_8$
Potassium-feldspar	$KAlSi_3O_8$
Amphibole	$(Na,K)Ca_2(Fe,Mg)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$
Mica	$K(Mg,Fe)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$
Magnetite	Fe_3O_4
Ilmenite	$FeTiO_3$
Almandine	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$
Calcite	$CaCO_3$
Ankerite	$CaFe(CO_3)_2$
Diopside	$CaMgSi_2O_6$
Epidote	$Ca_2(Al,Fe)Al_2O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$
Hematite	Fe_2O_3
Maghemite	γ-Fe_2O_3
Chlorite	$(Fe,(Mg,Mn)_5,Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$
Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Perovskite	$CaTiO_3$
Fluorapatite	$Ca_5(PO_4)_3F$
Scapolite	$(Na,Ca)_4[Al_3Si_9O_{24}]Cl$
Sodalite	$Na_8(AlSiO_4)_6Cl_2$
Olivine	$(Mg,Fe)_2SiO_4$

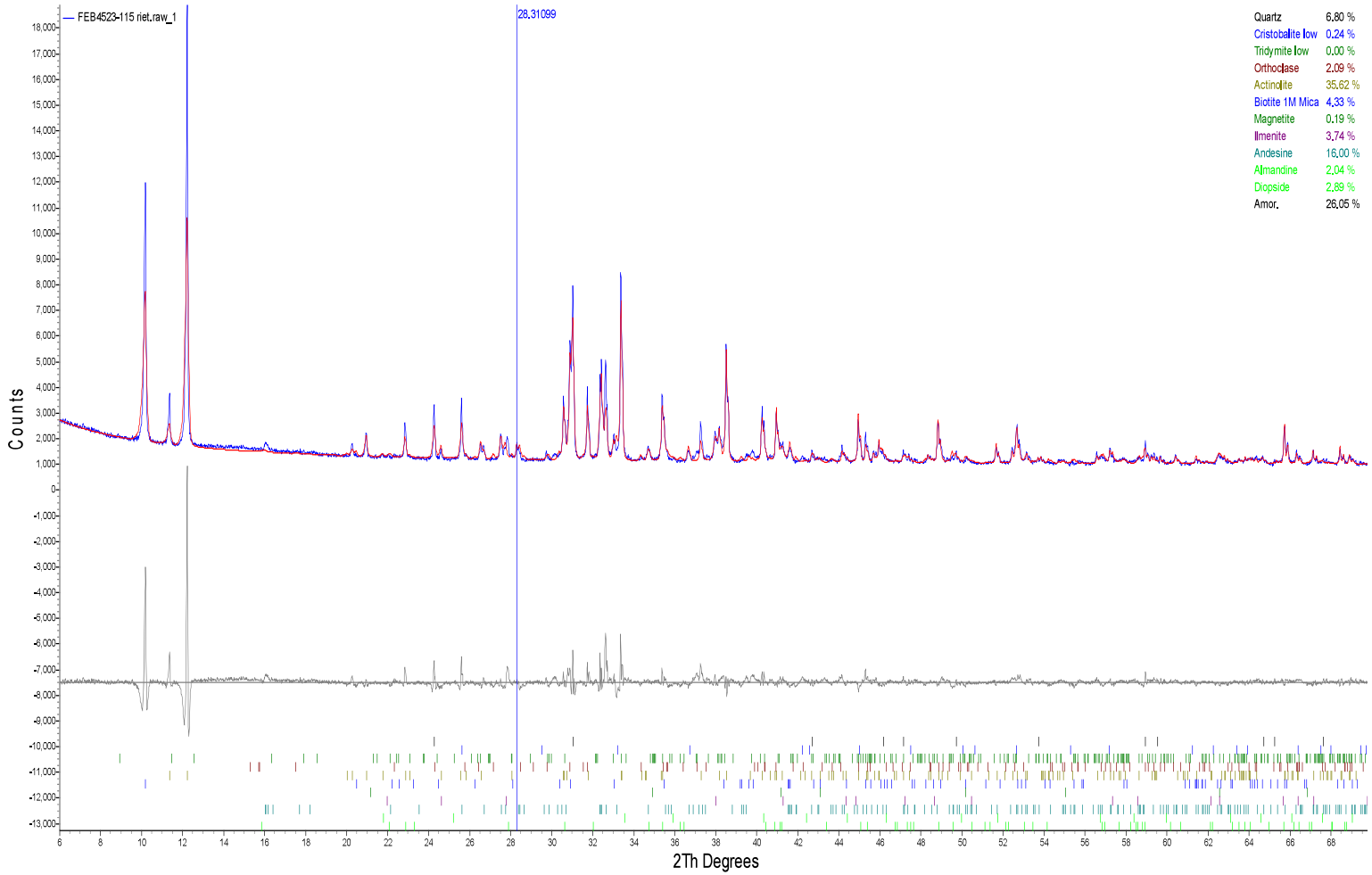
BL-12-06-AMP-190-195



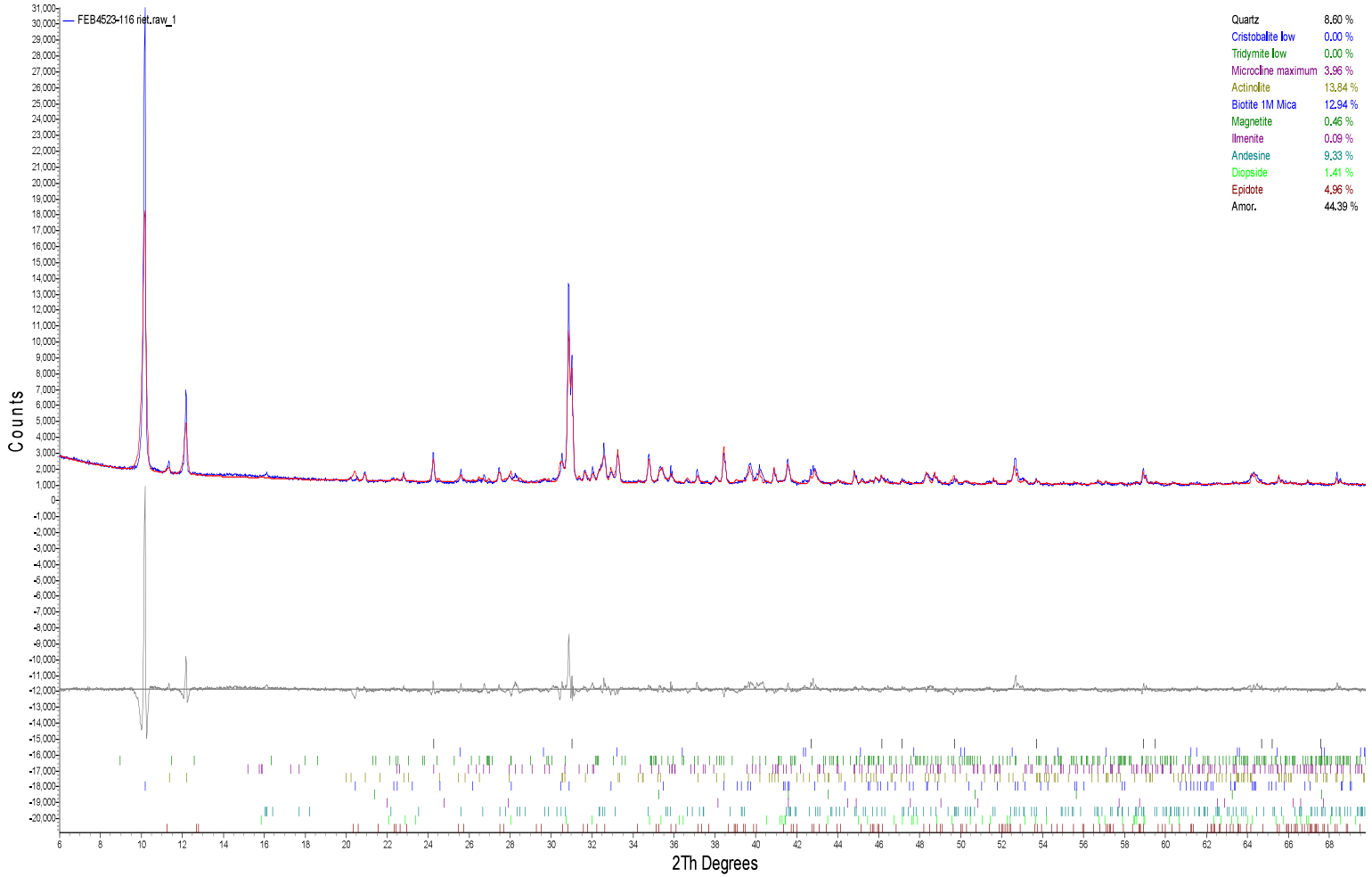
BL-12-06-AMP-240-245



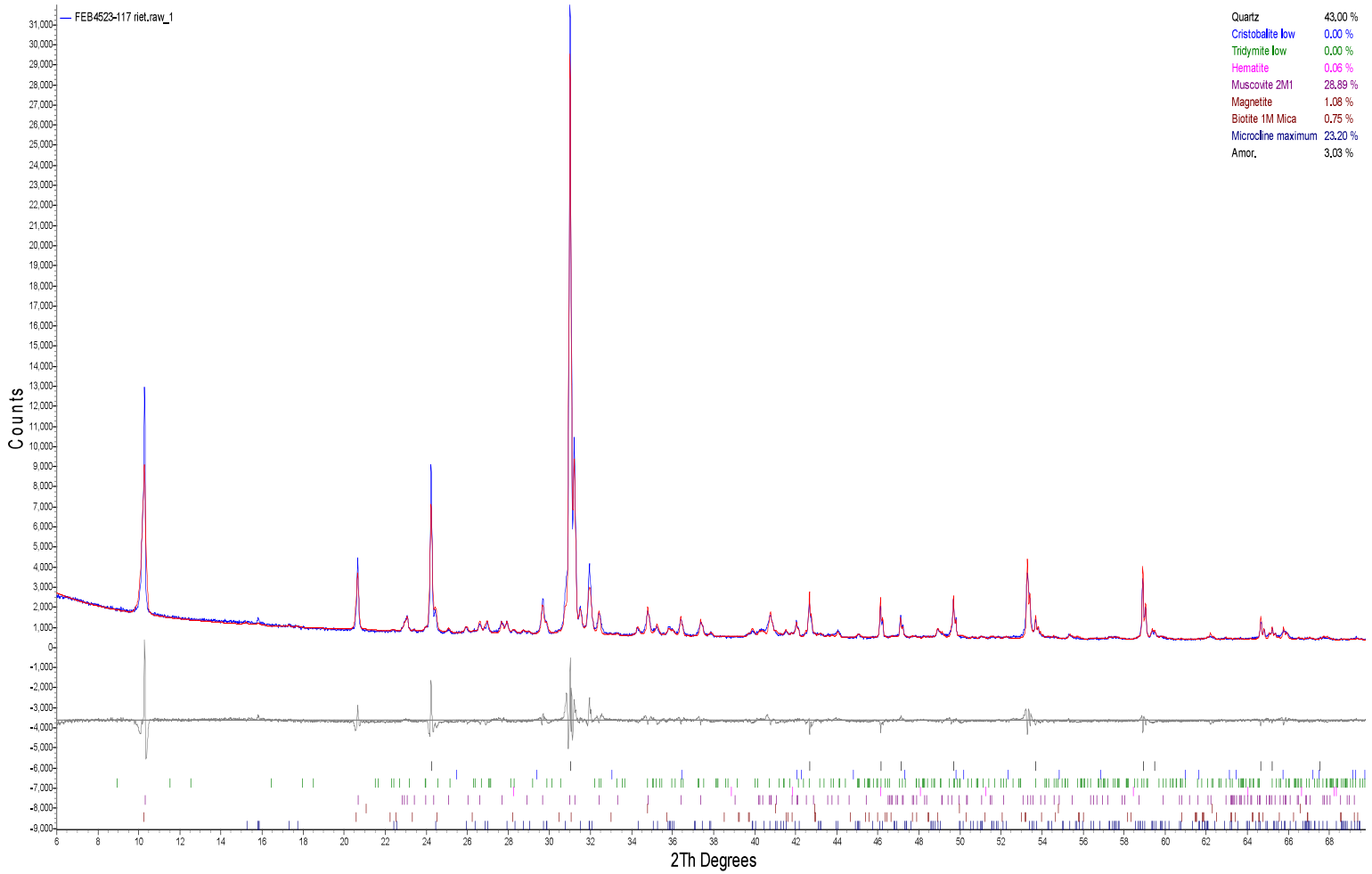
BL-12-06-AMP-270-275



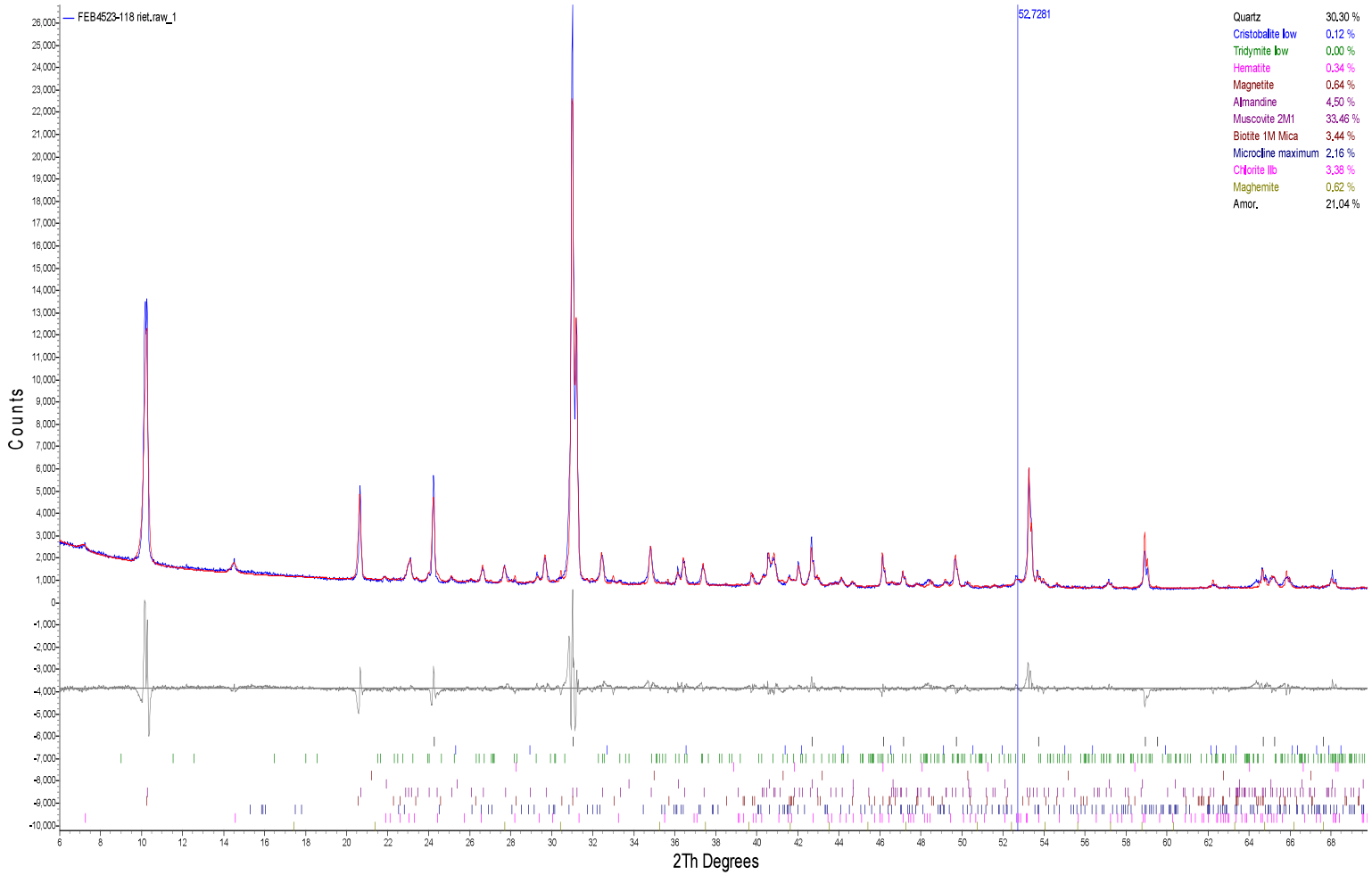
BL-12-07-AMP-33-38



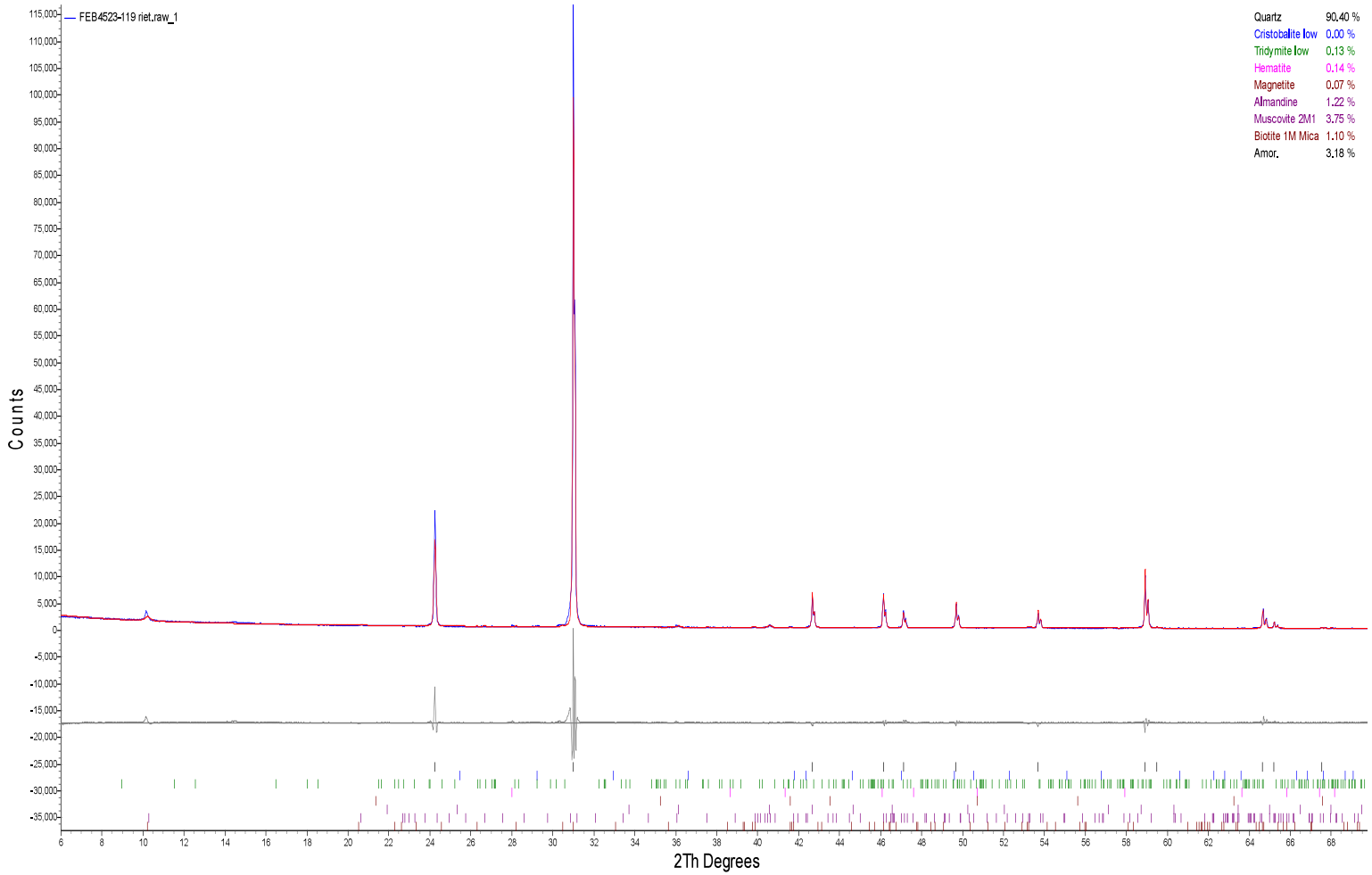
BL-12-07-GN-48-54



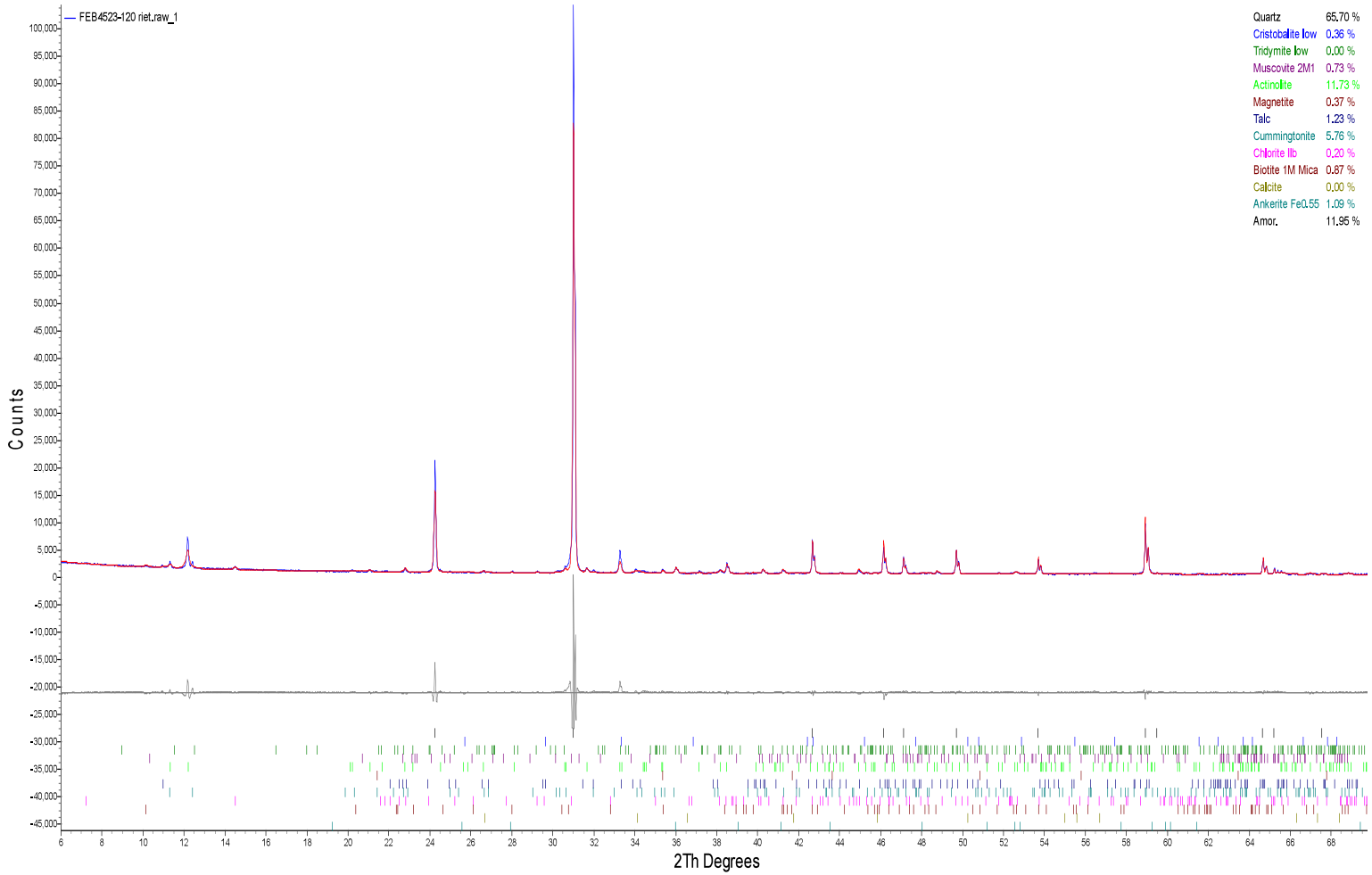
BL-12-07-GN-85-90



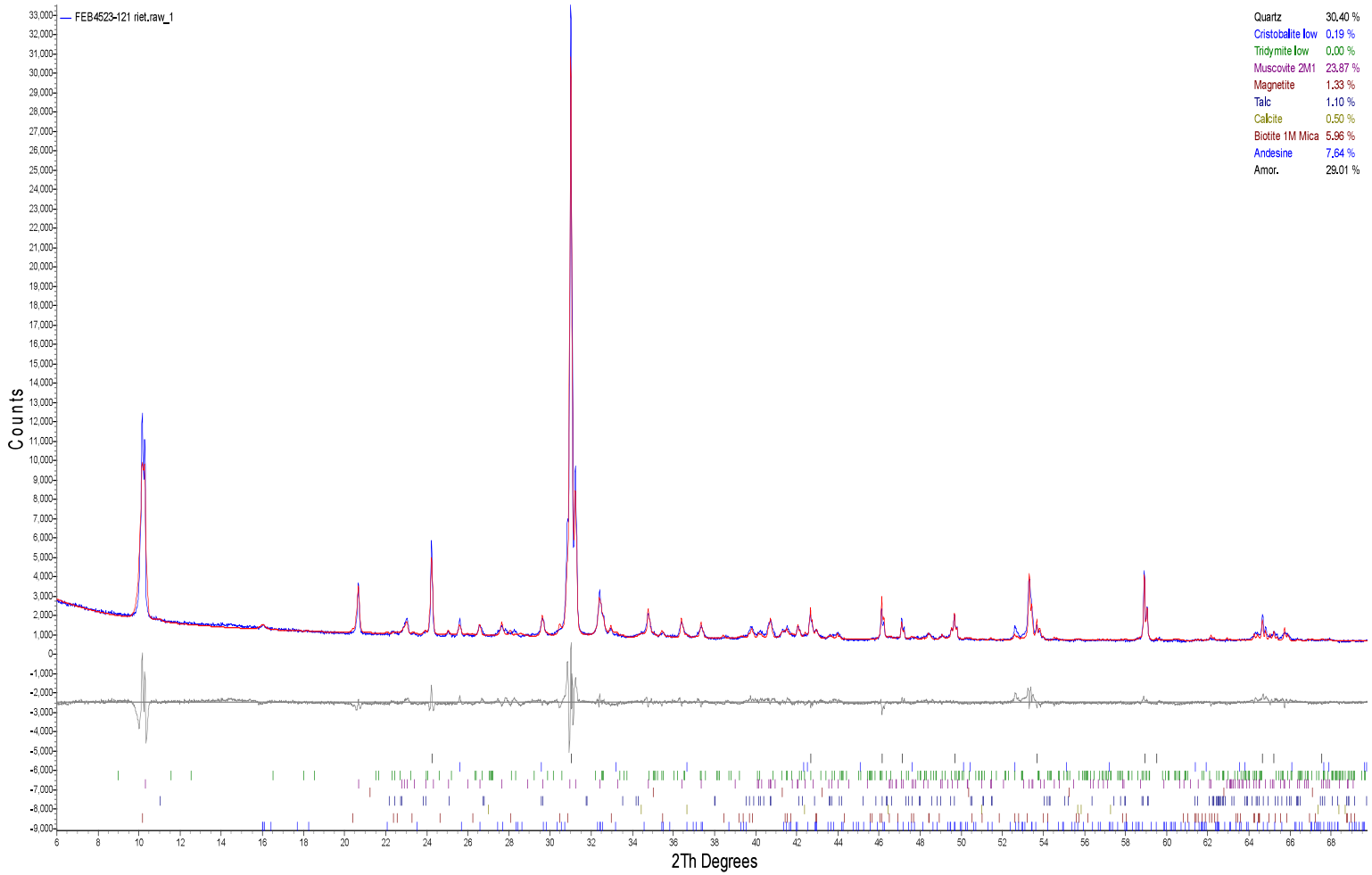
BL-12-07-QR-130-135



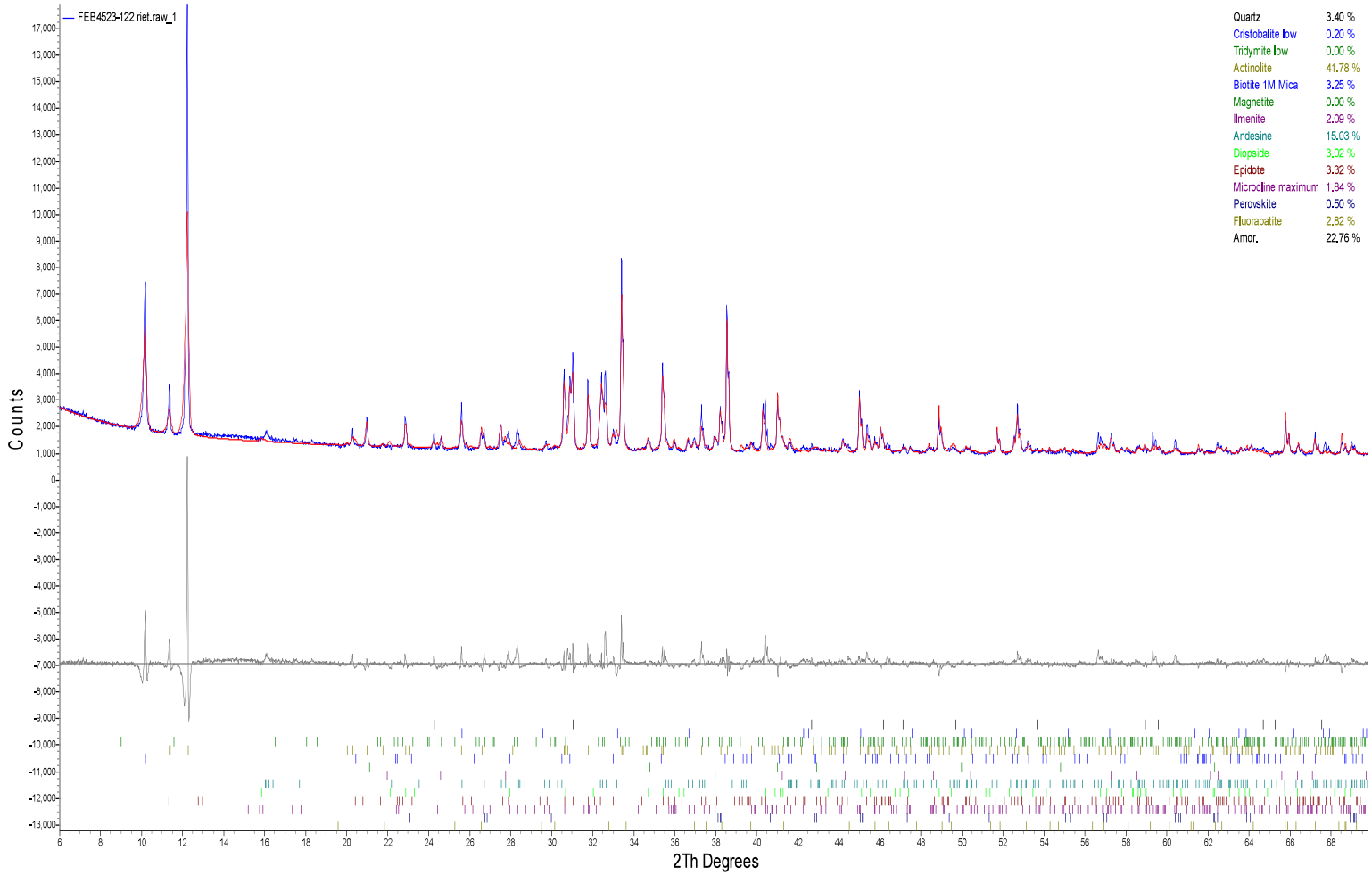
BL-12-07-WSIF-173-177



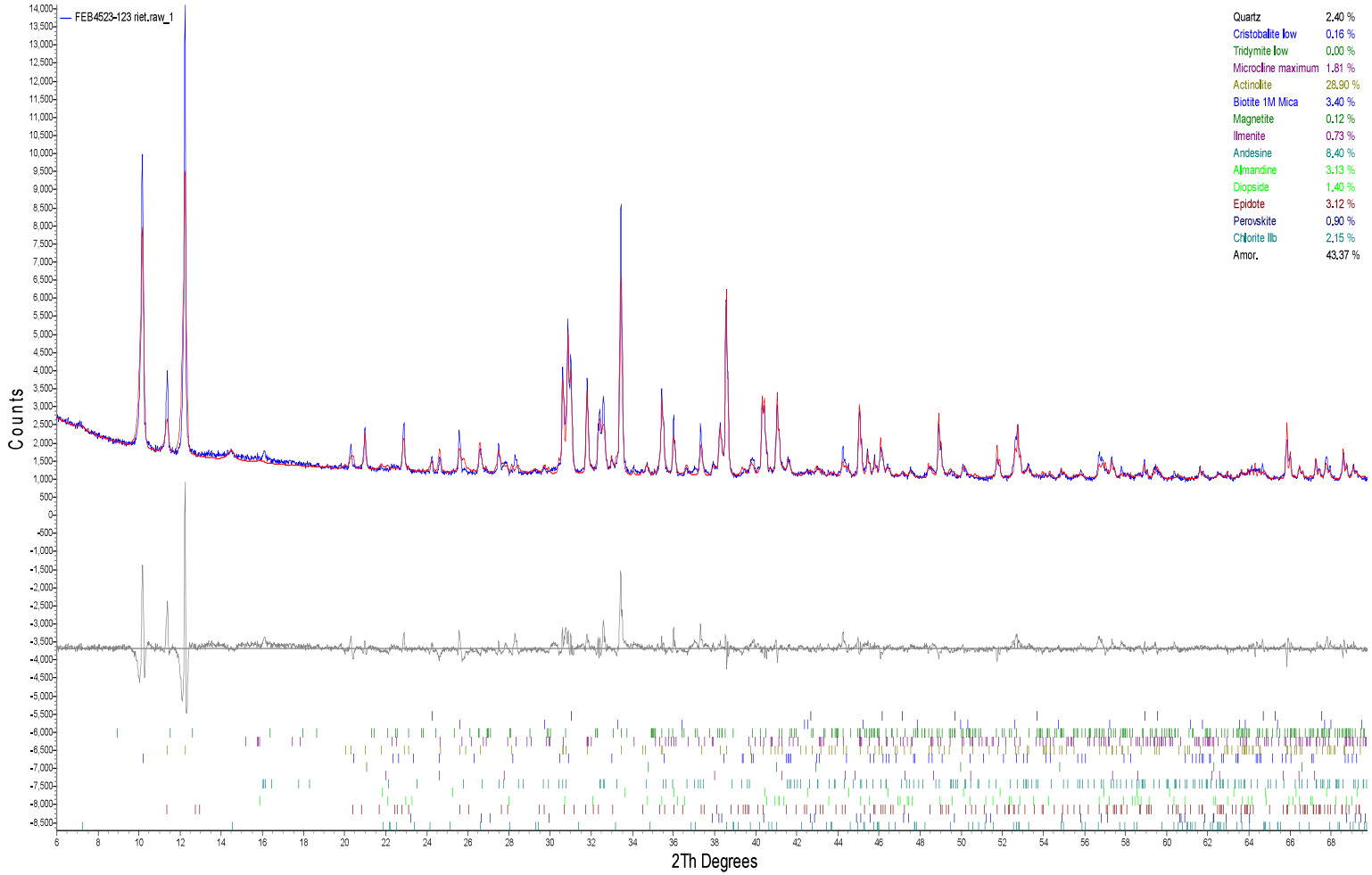
BL-12-09-GN-20-25



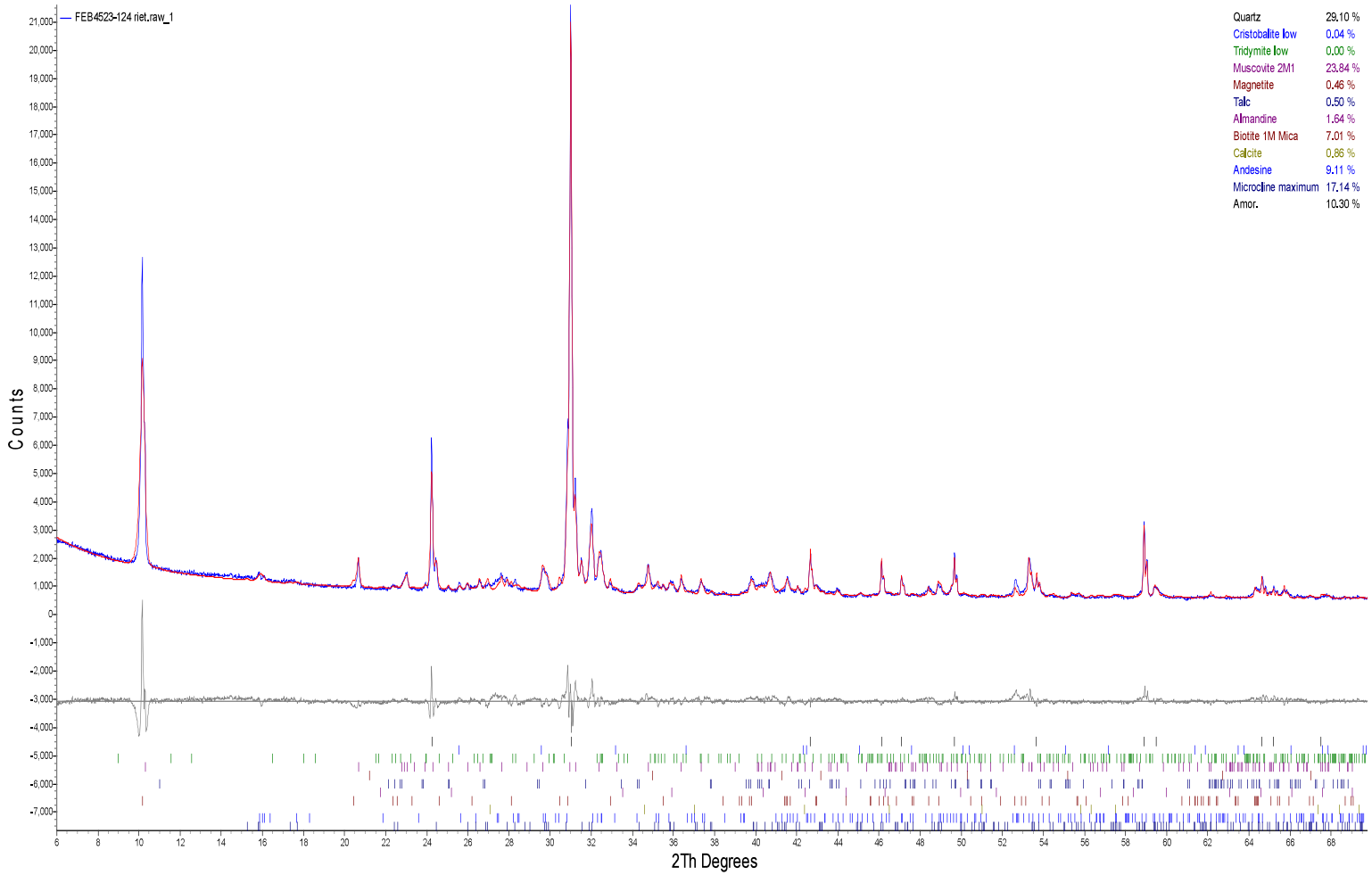
BL-12-09-AMP-50-55



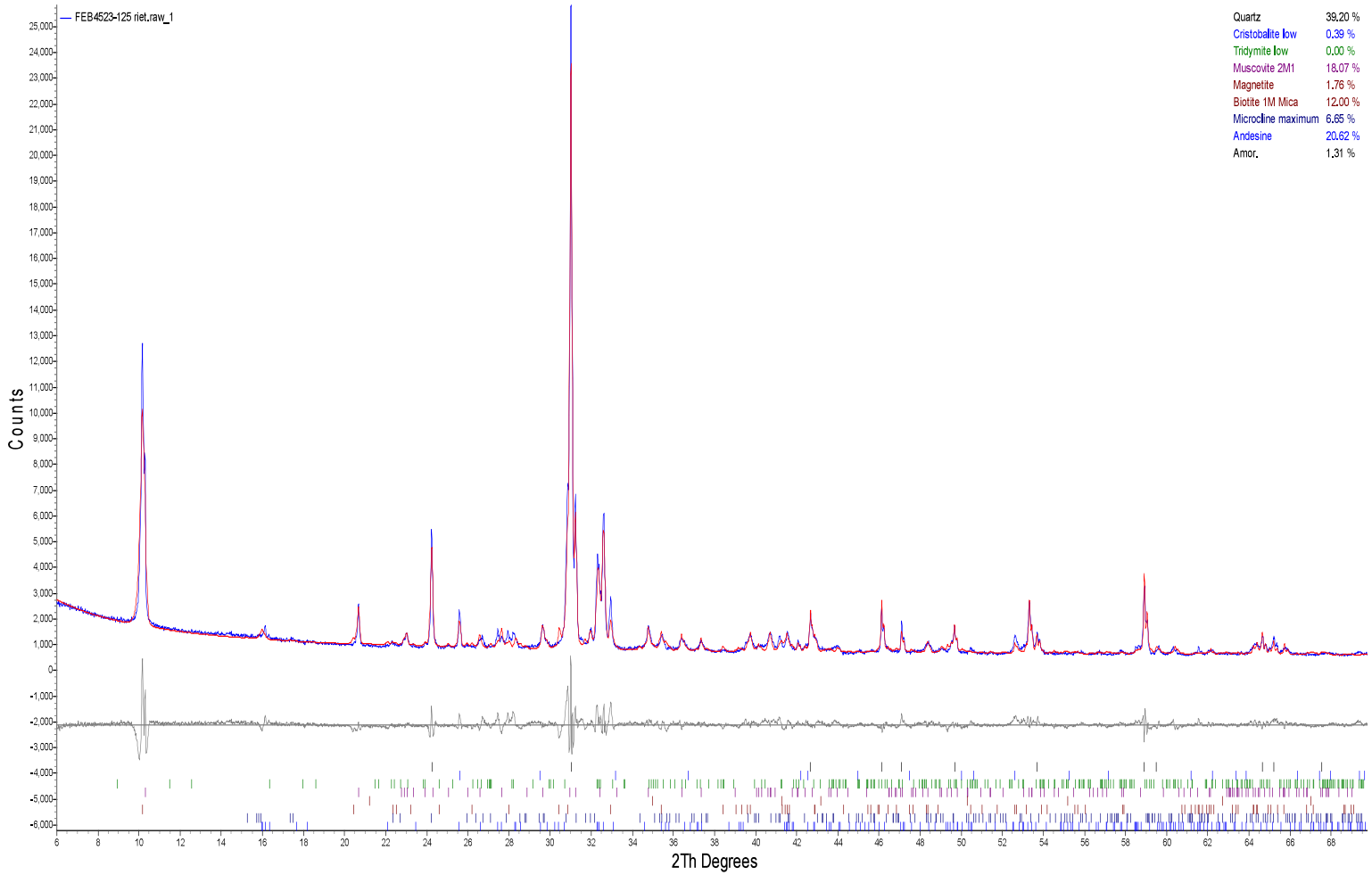
BL-12-09-AMP-100-105



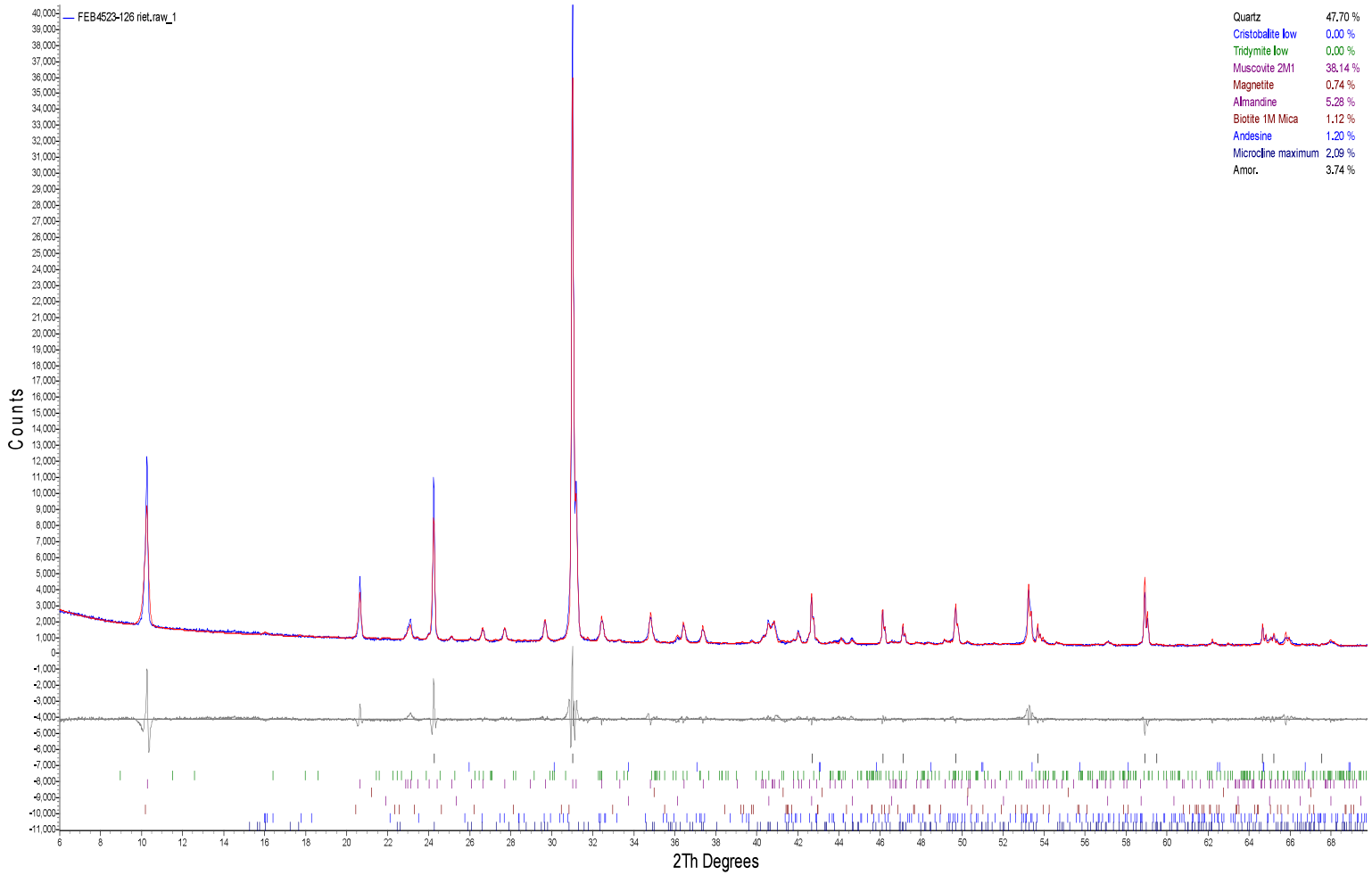
BL-12-09-GN-110-115



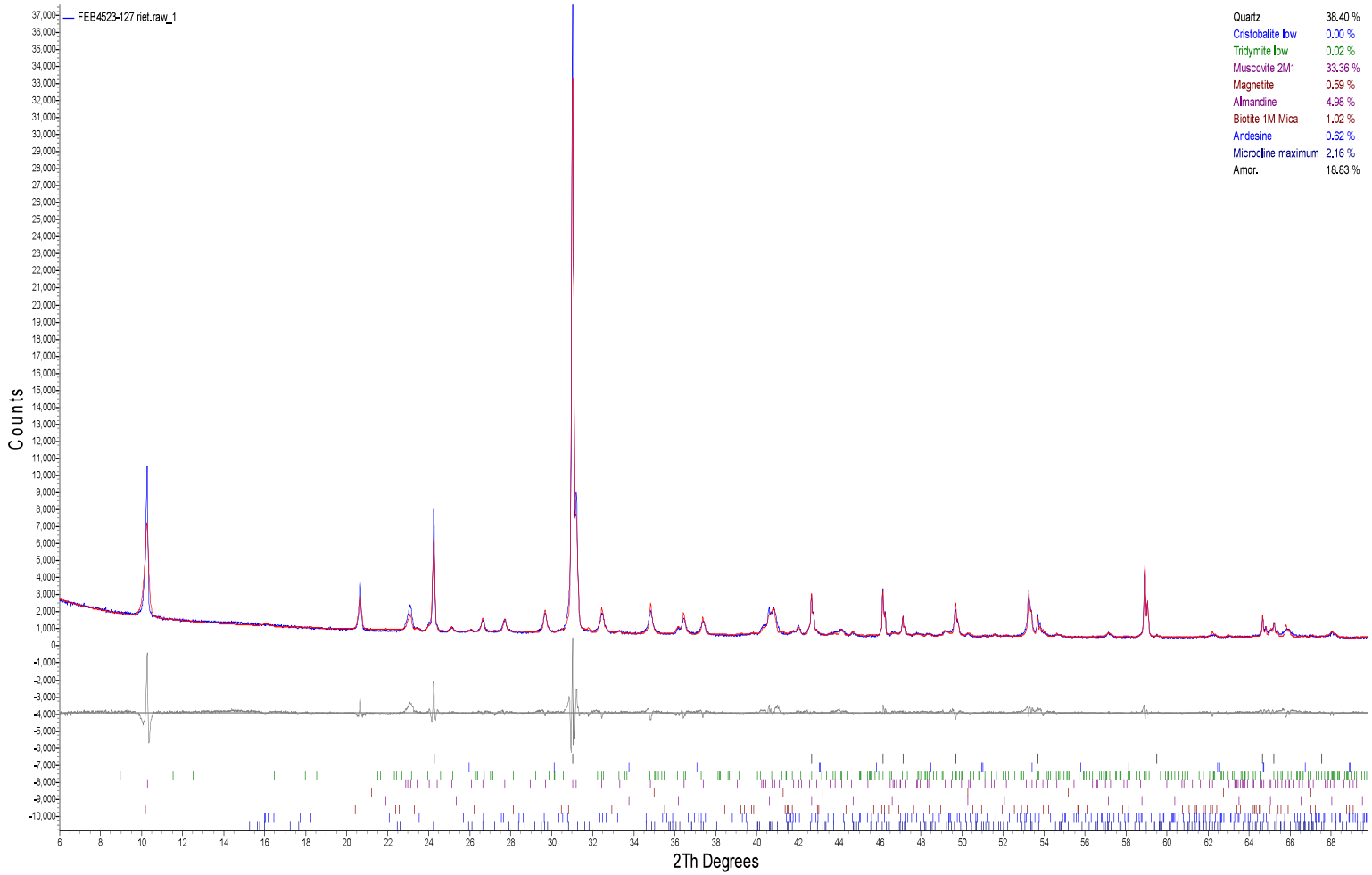
BL-12-09-GN-145-150



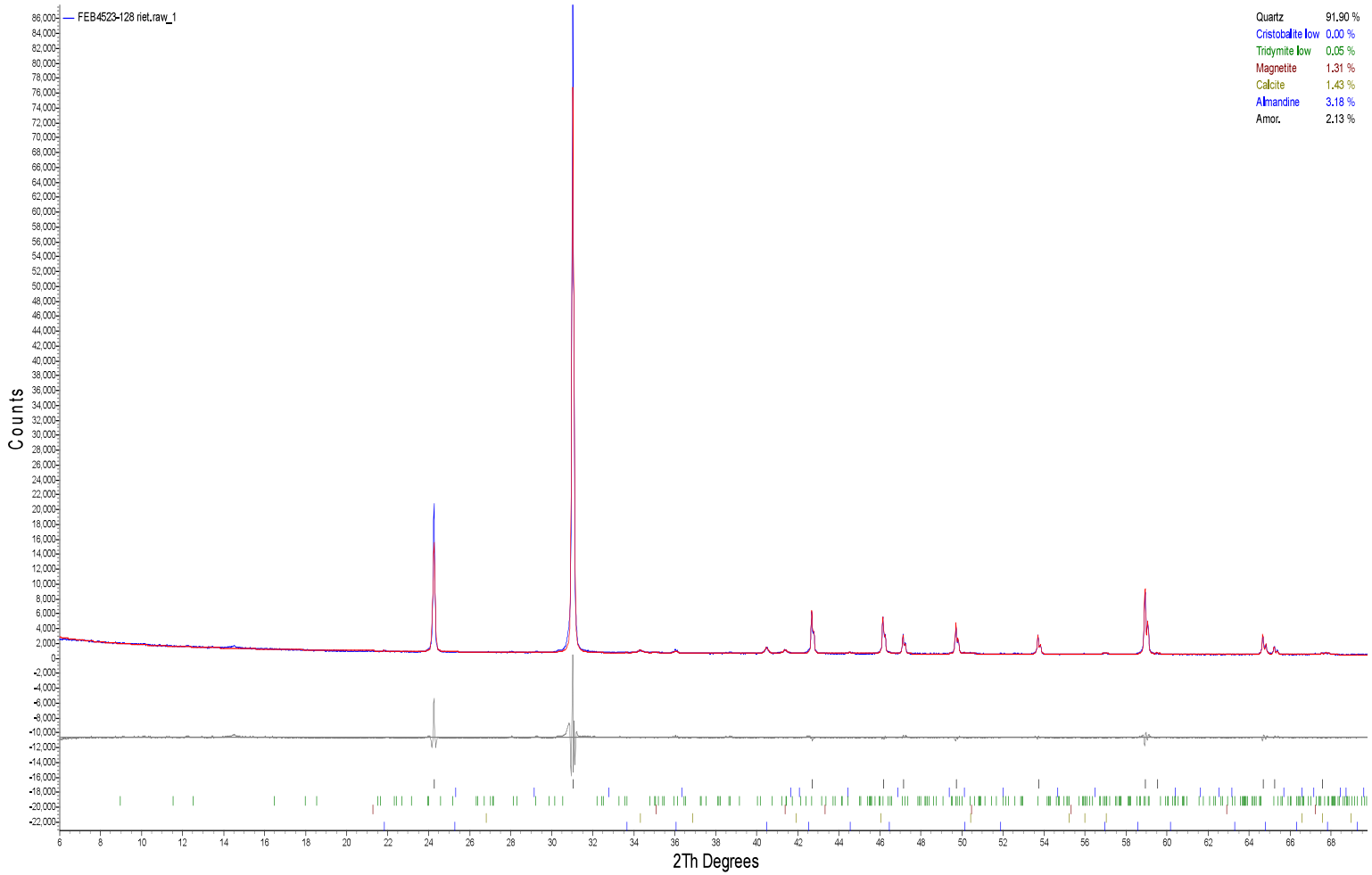
BL-12-10-GN-75-80



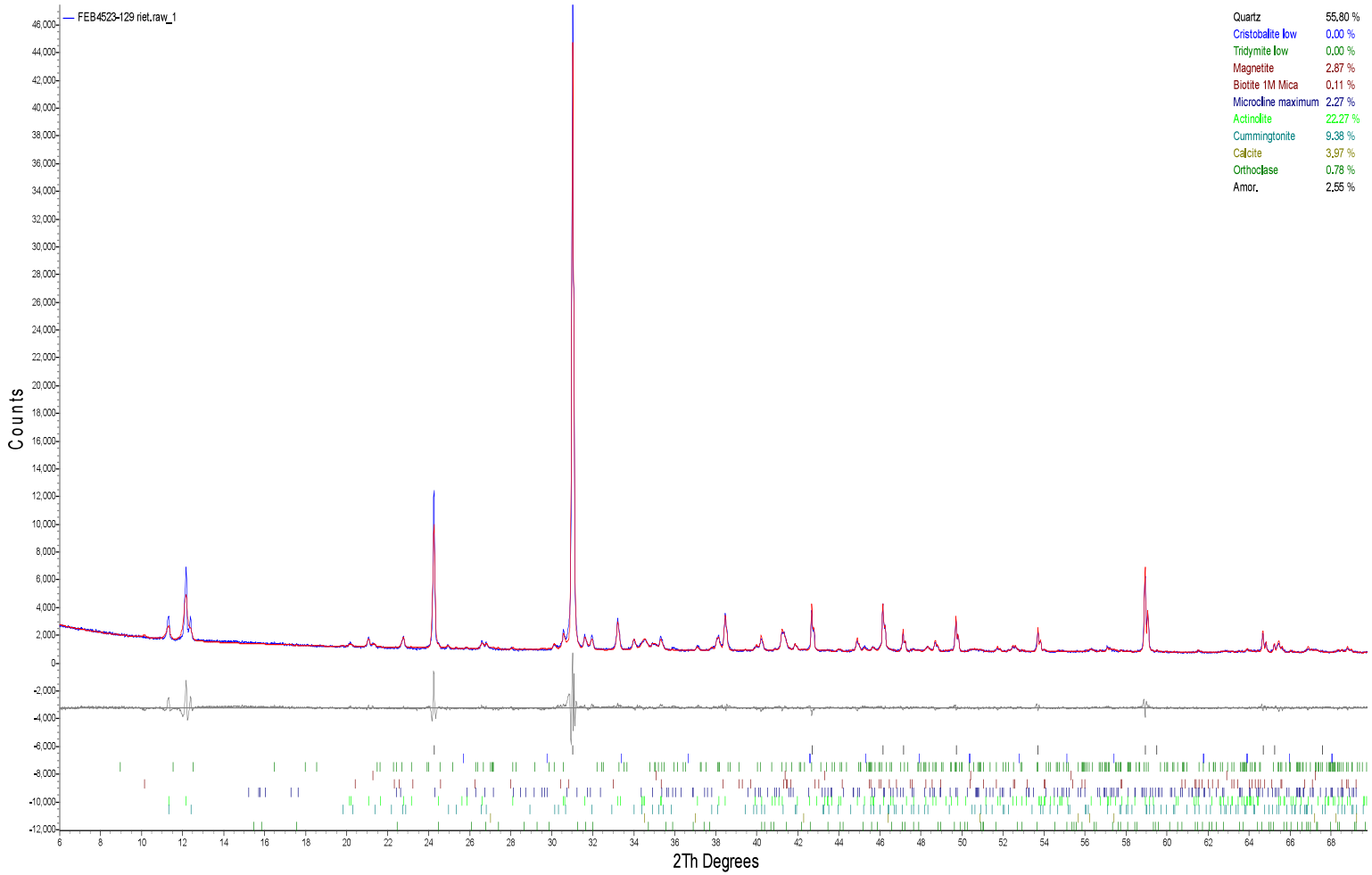
BL-12-10-GN-125-130



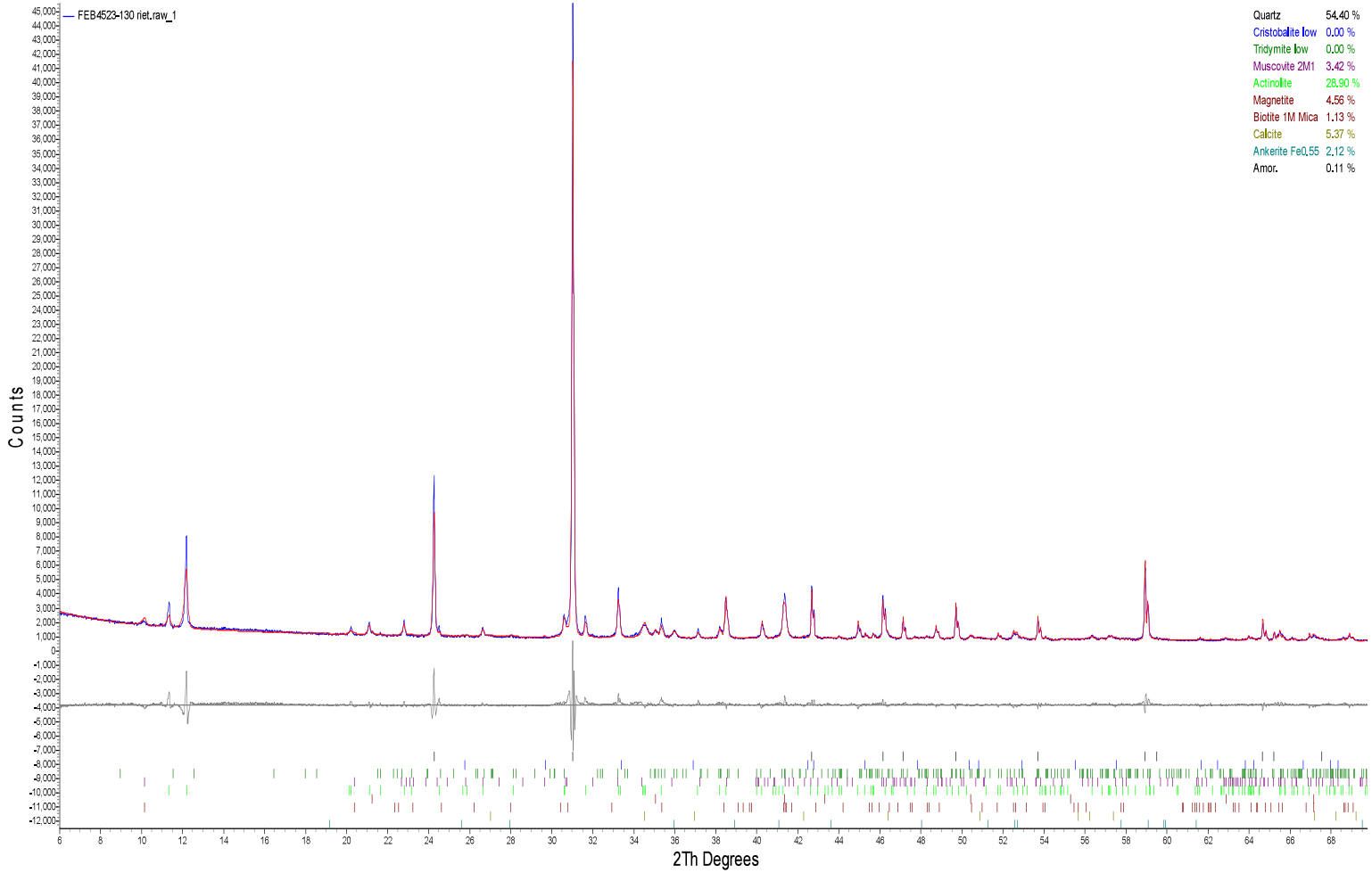
BL-12-10-QR-160-165



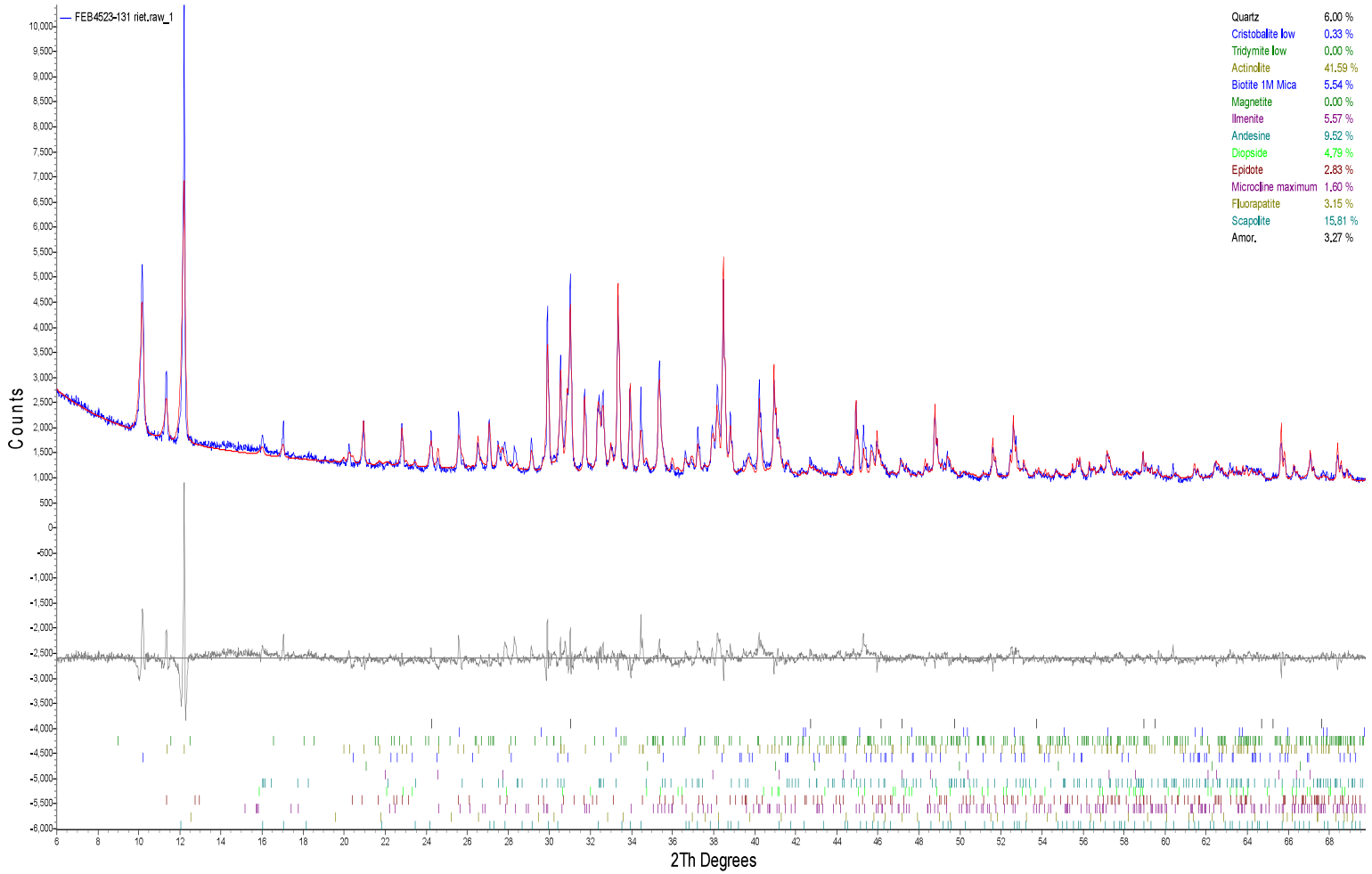
BL-12-10-WSIF-200-205



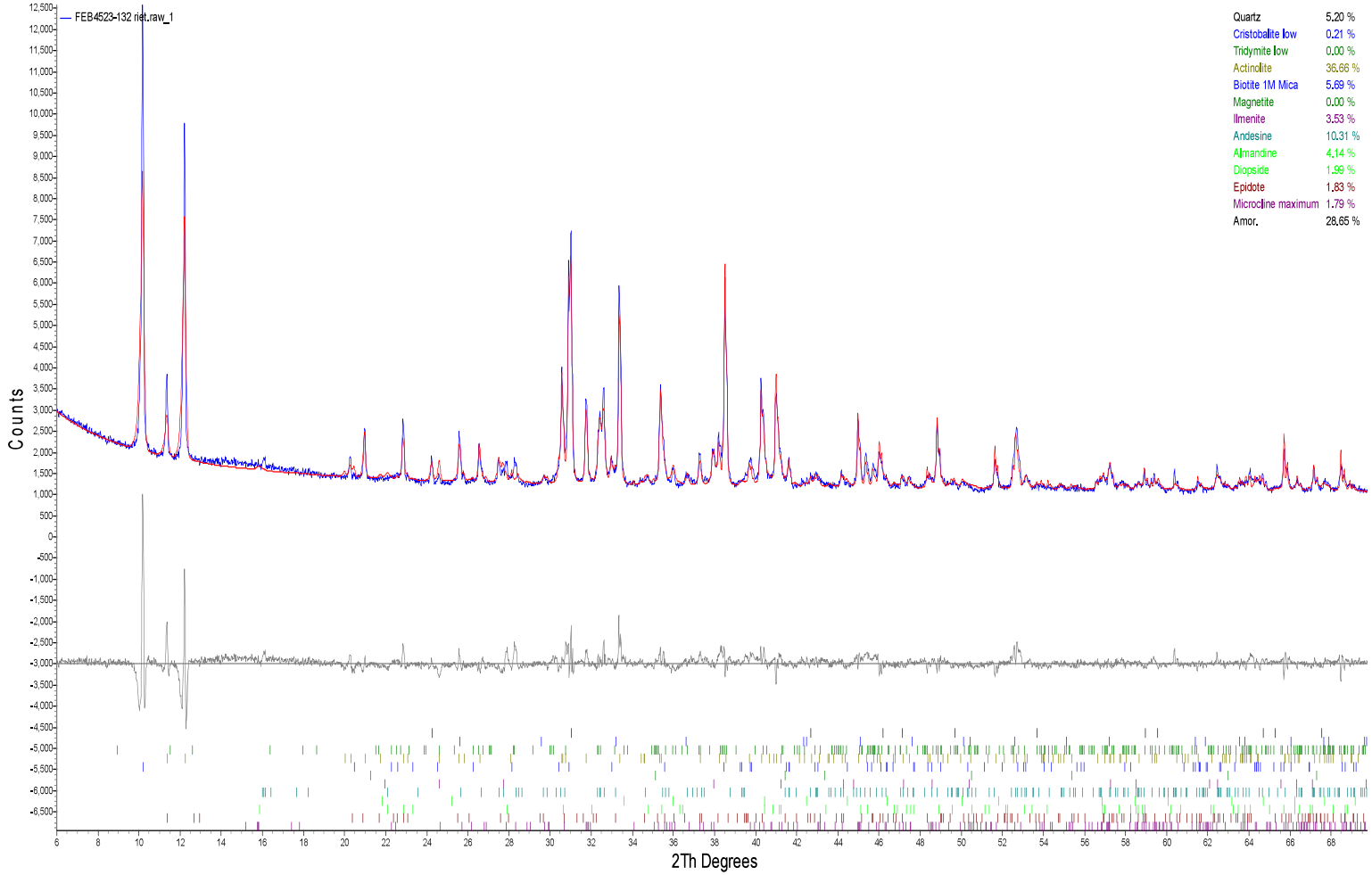
BL-12-10-WSIF-220-225



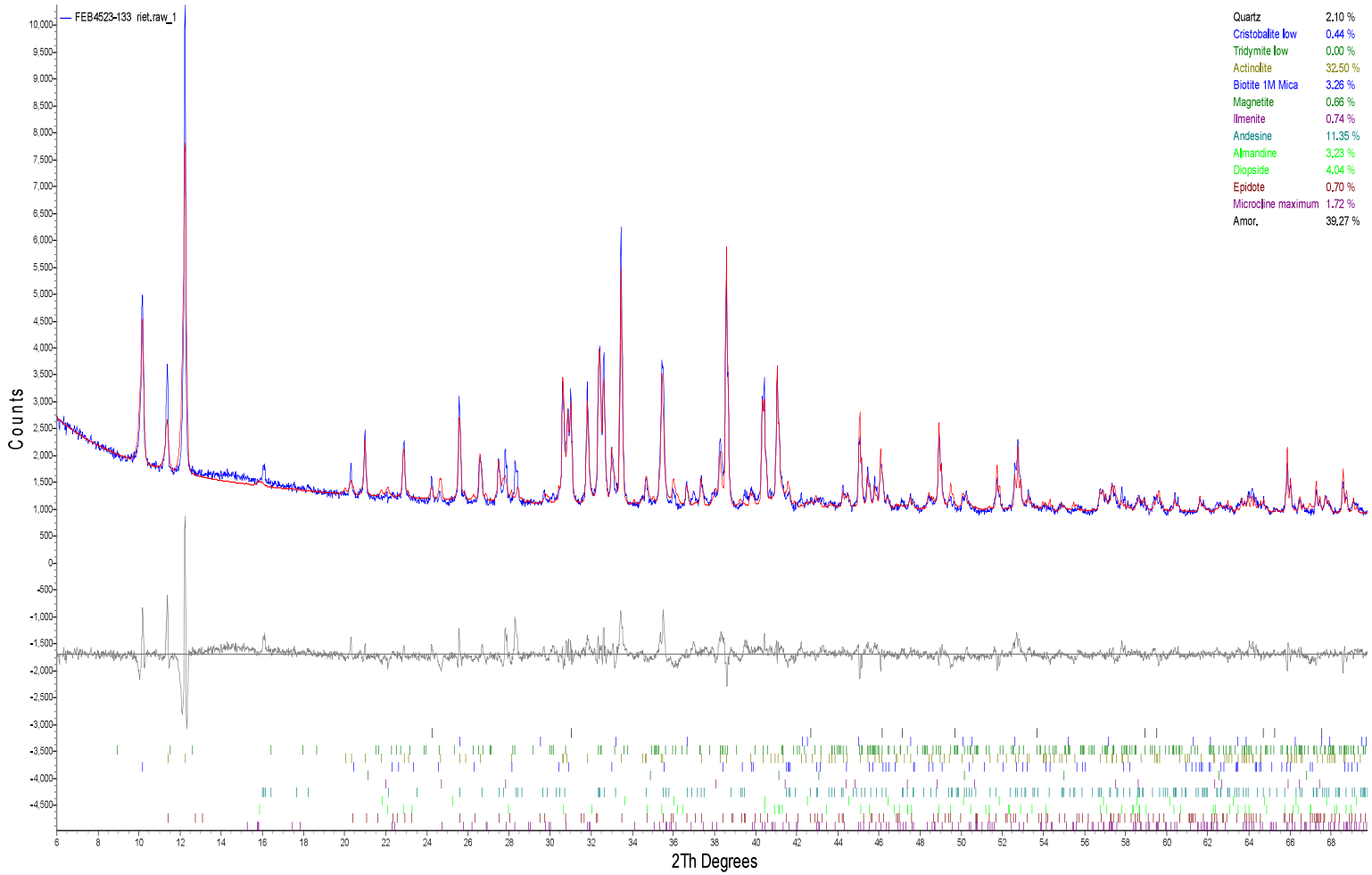
BL-12-14-AMP-116-121



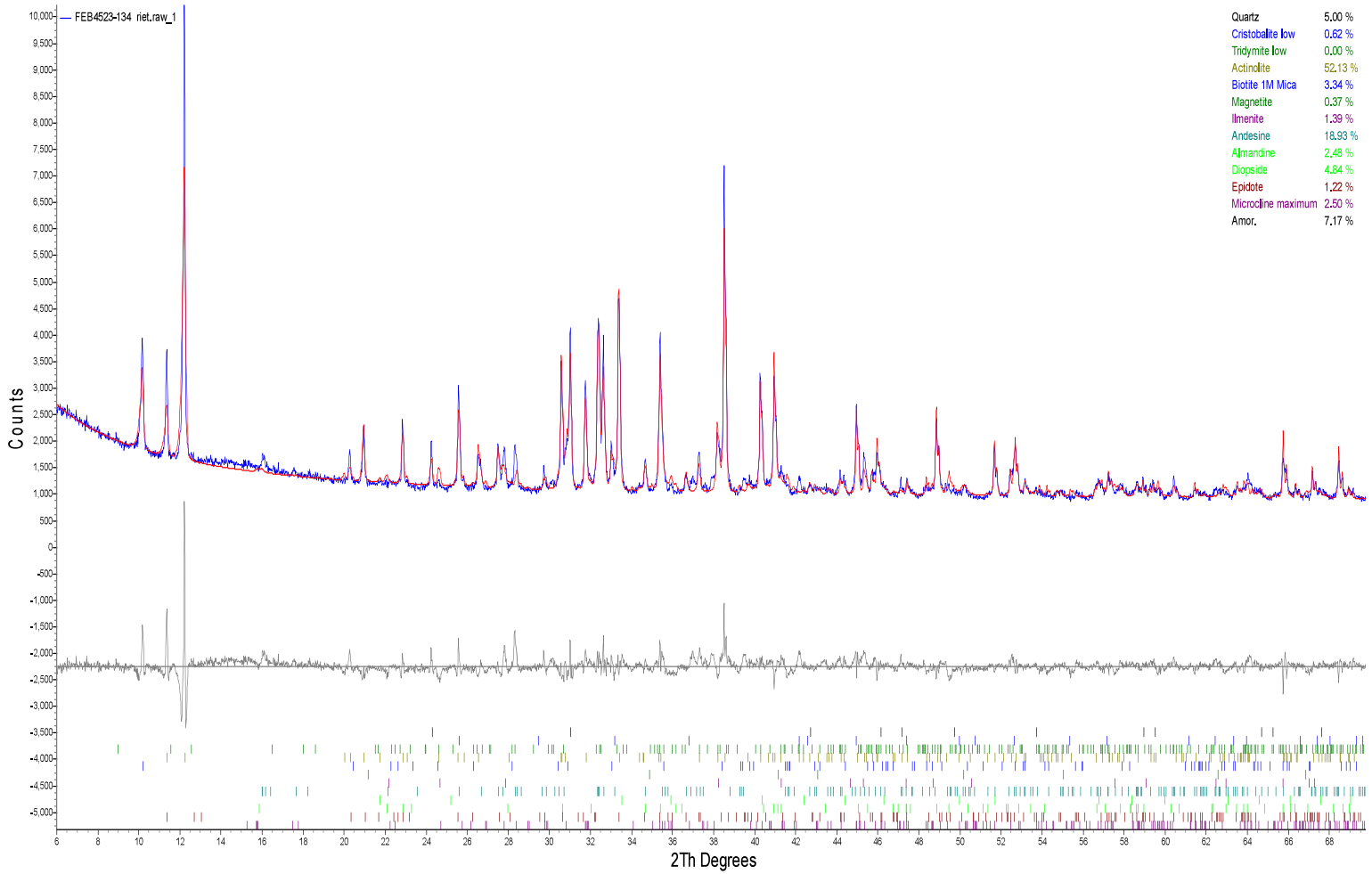
BL-12-14-AMP-155-160



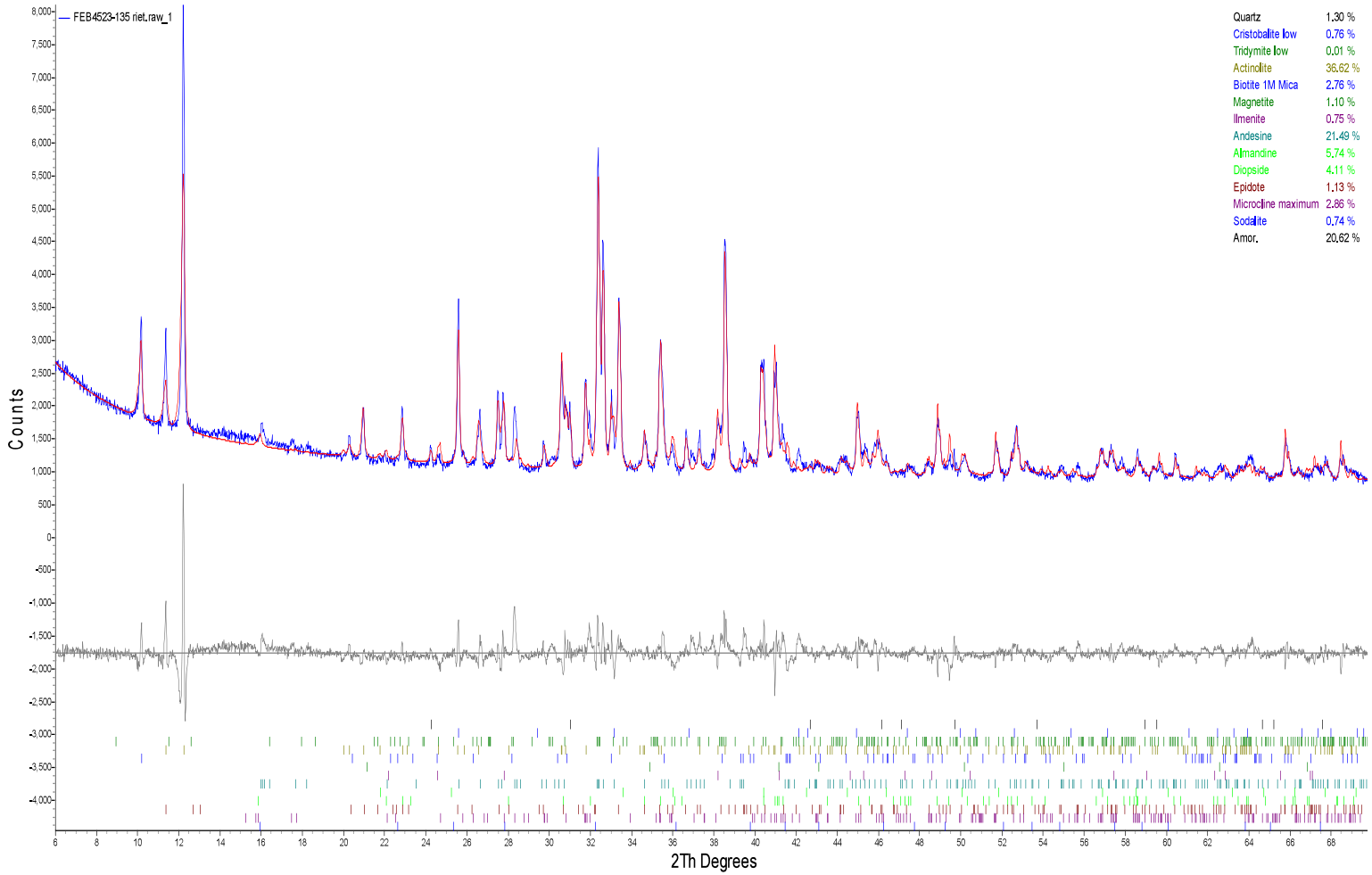
BL-12-16-AMP-10-15



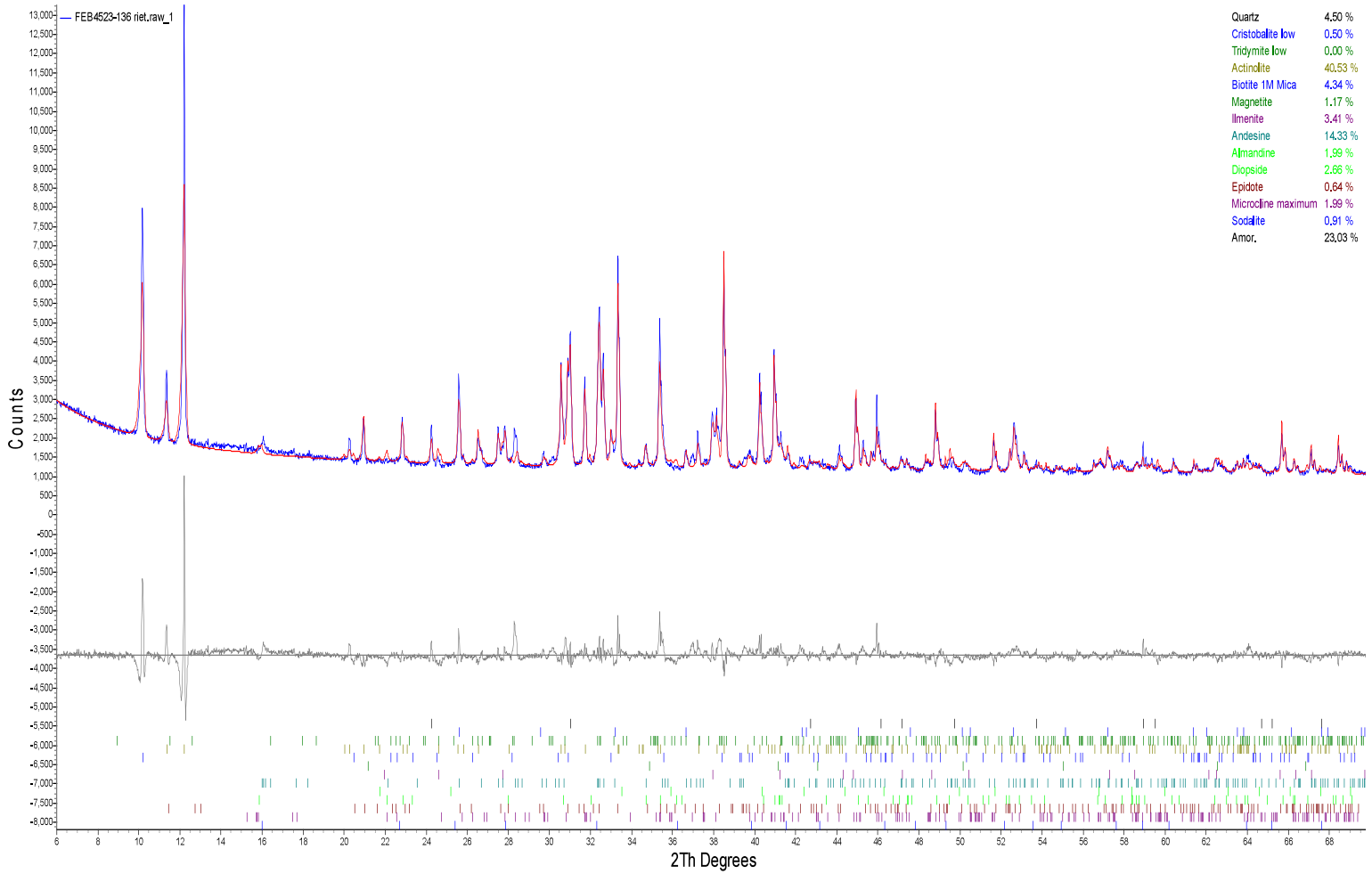
BL-12-16-AMP-65-70



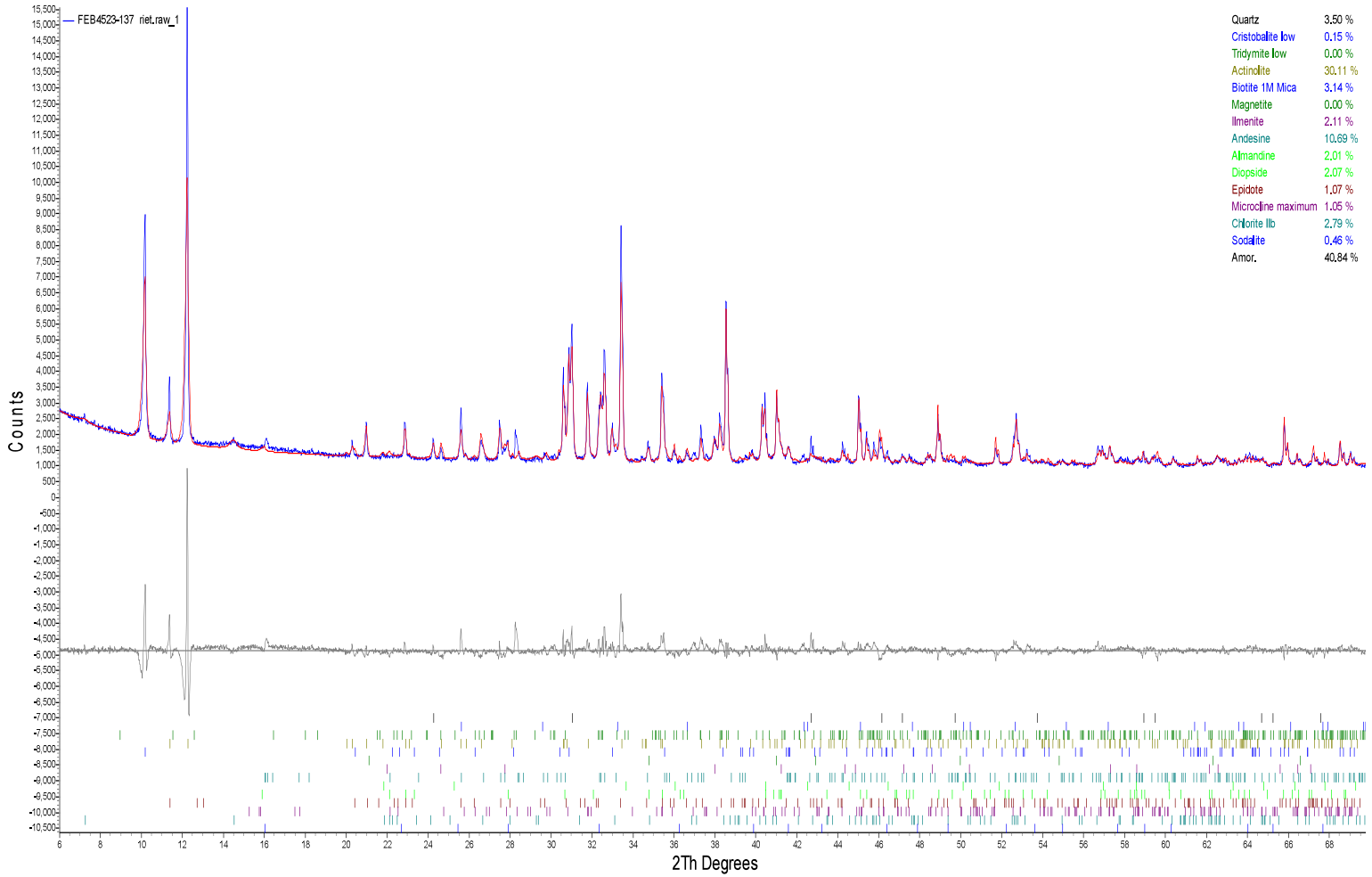
BL-12-16-AMP-120-125



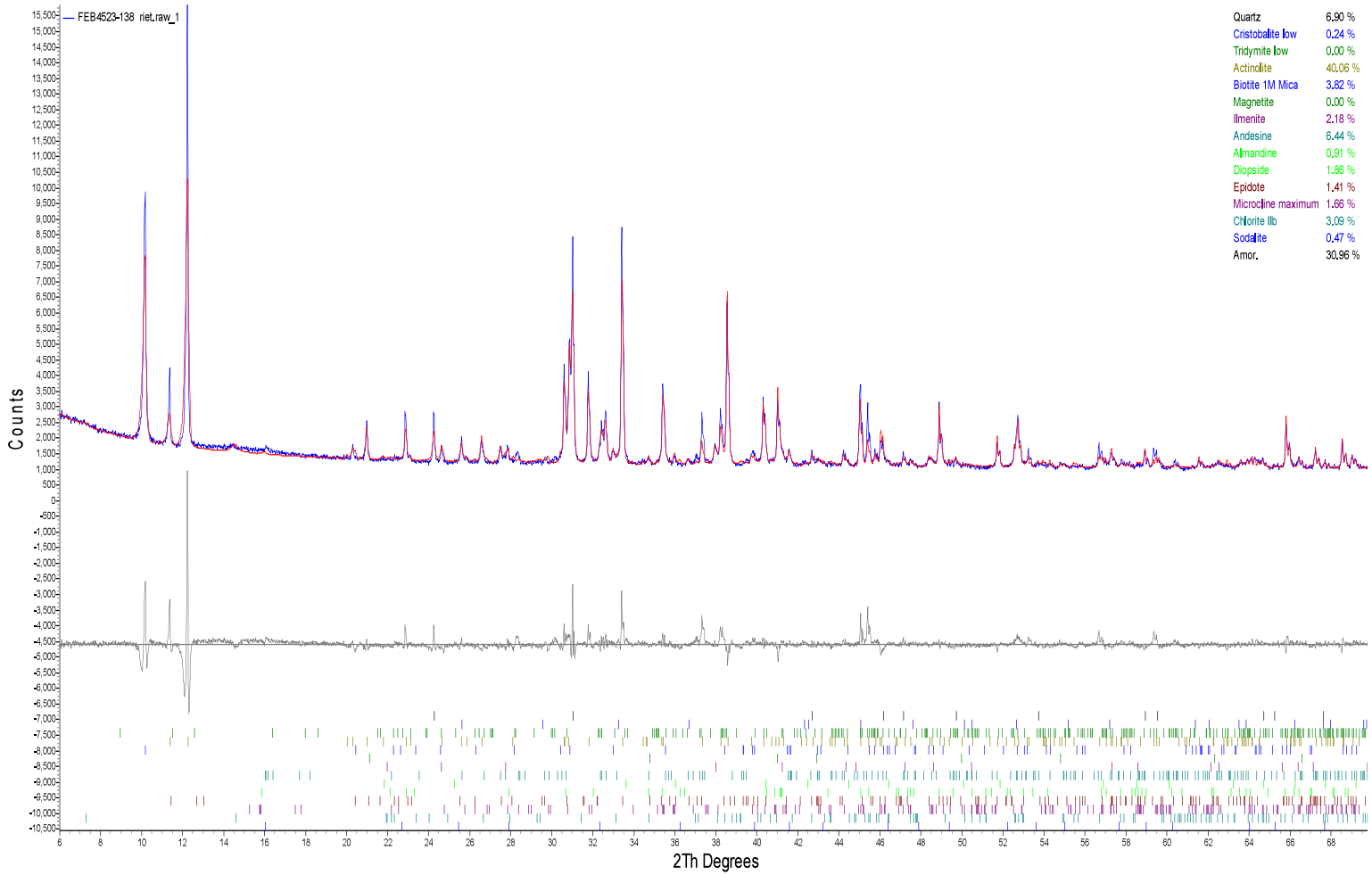
BL-12-16-AMP-170-175



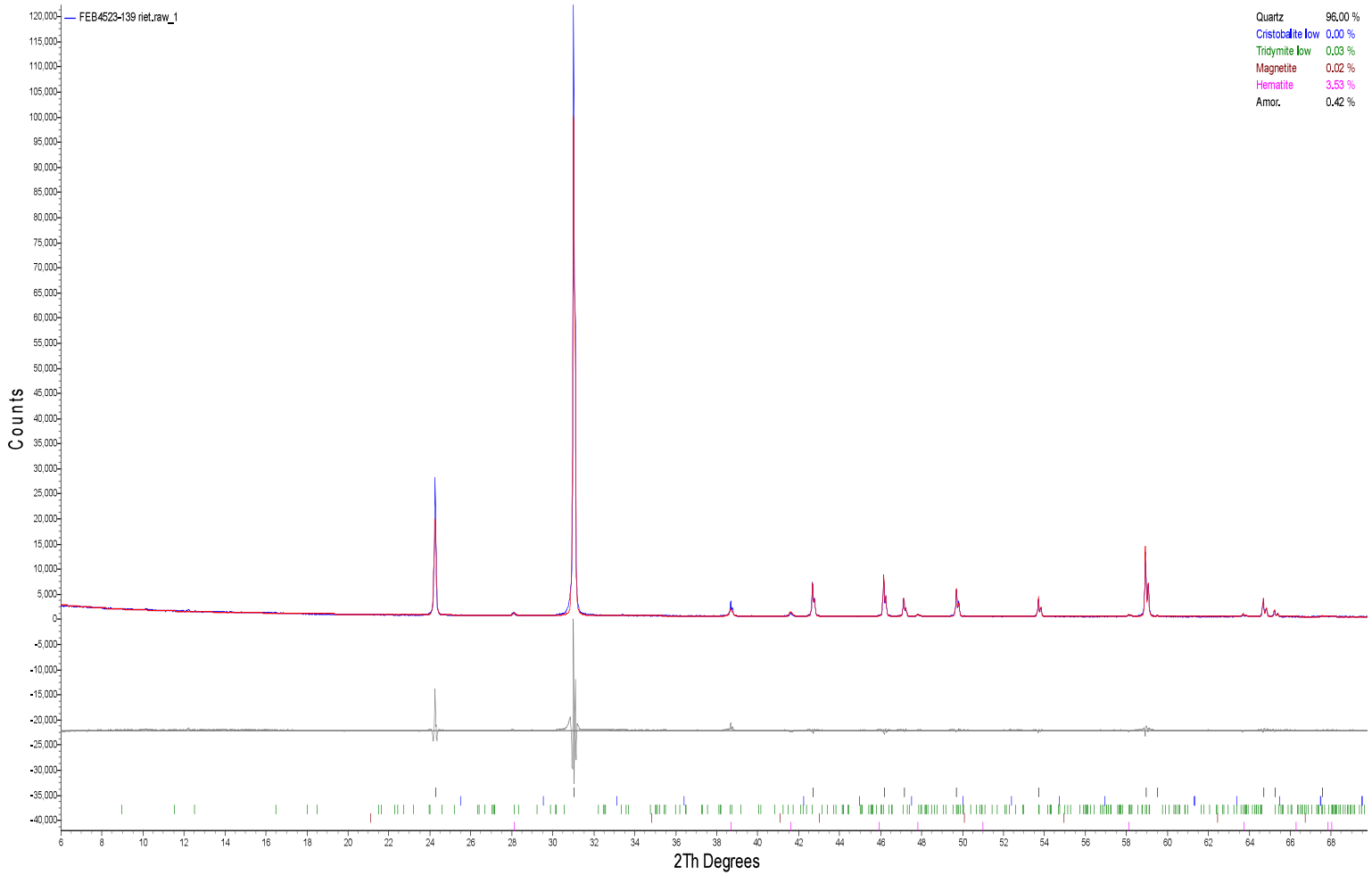
BL-12-28-AMP-75-80



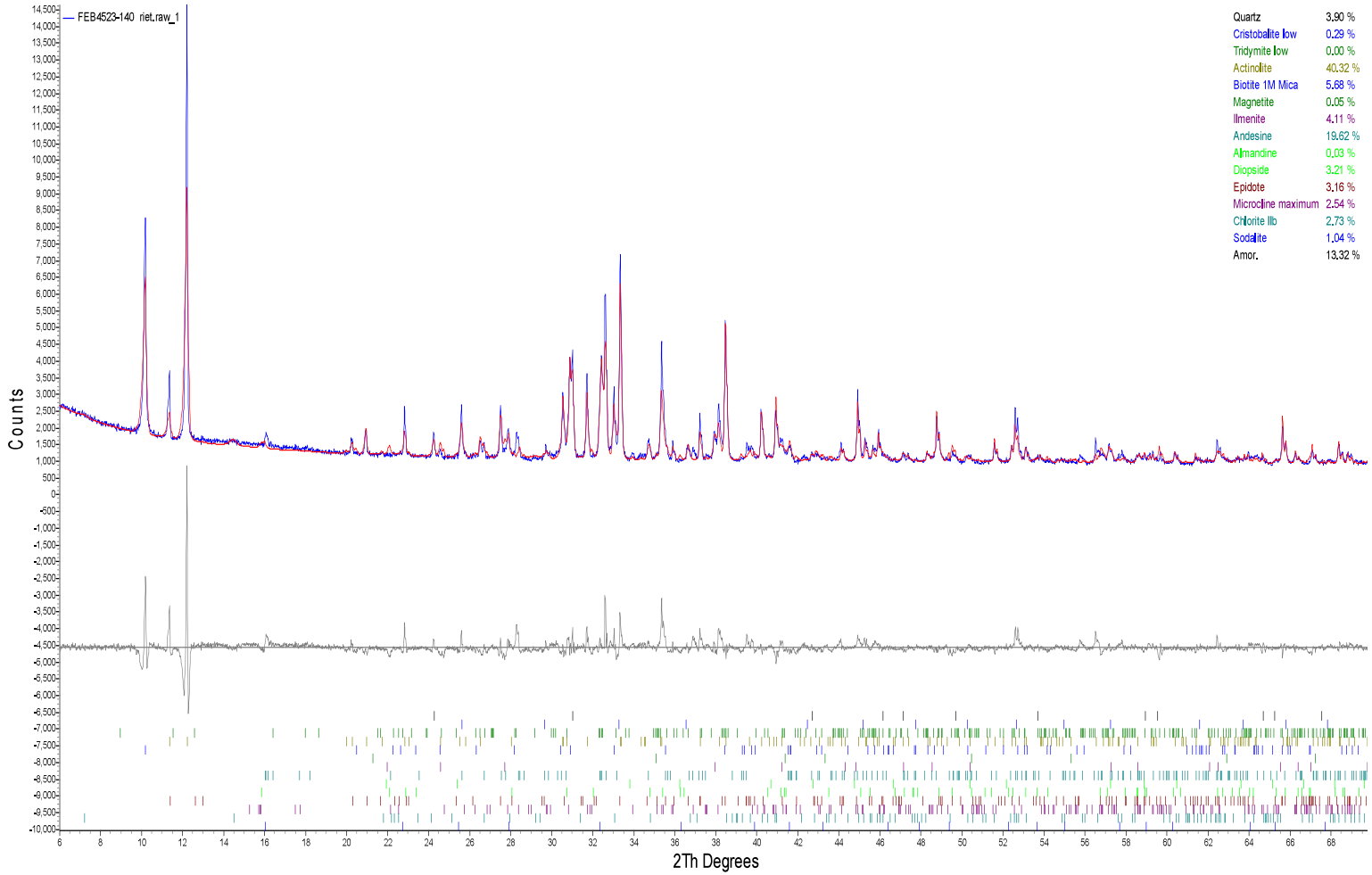
BL-12-28-AMP-140-145



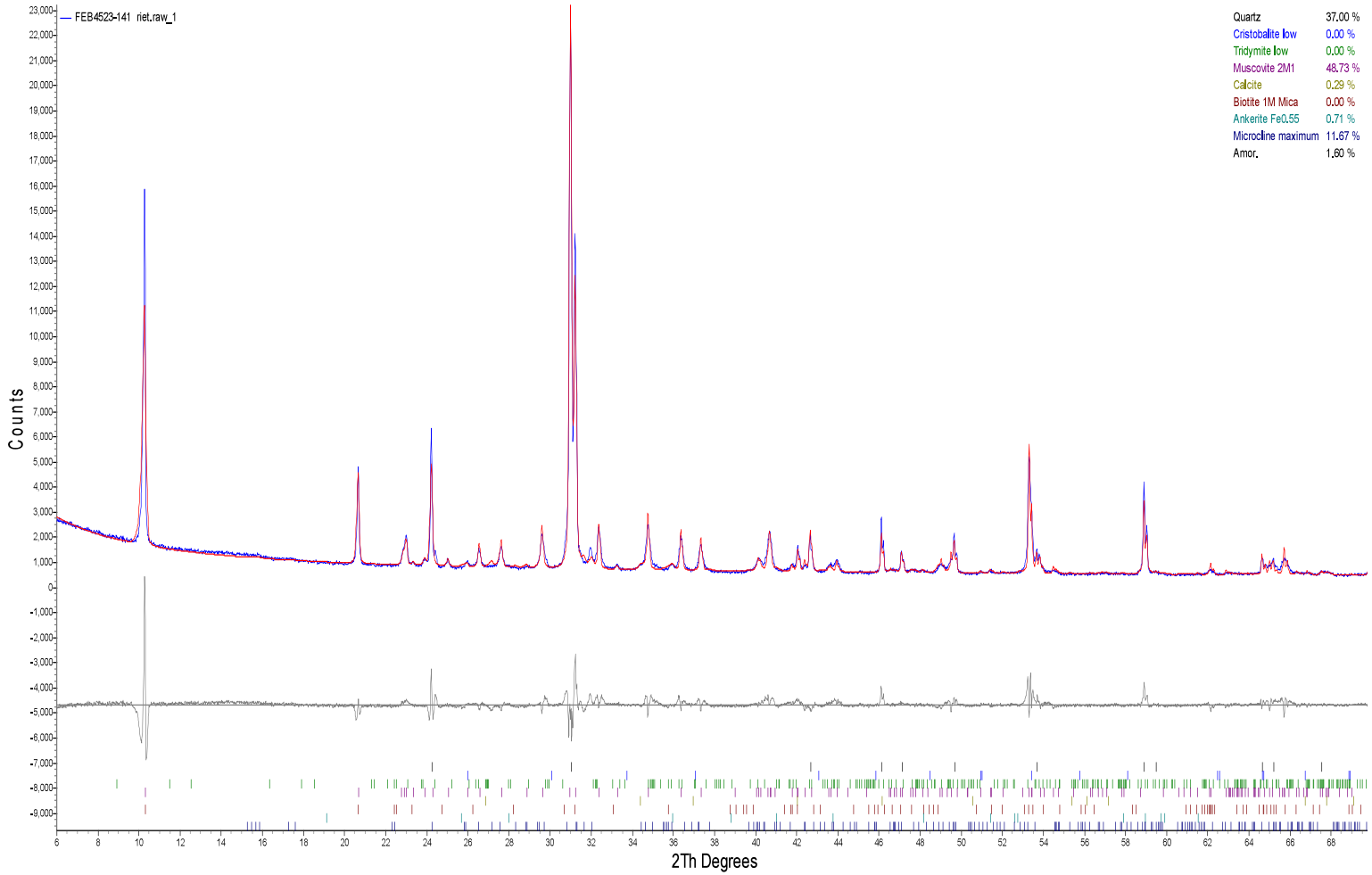
BL-12-28-QR-210-215



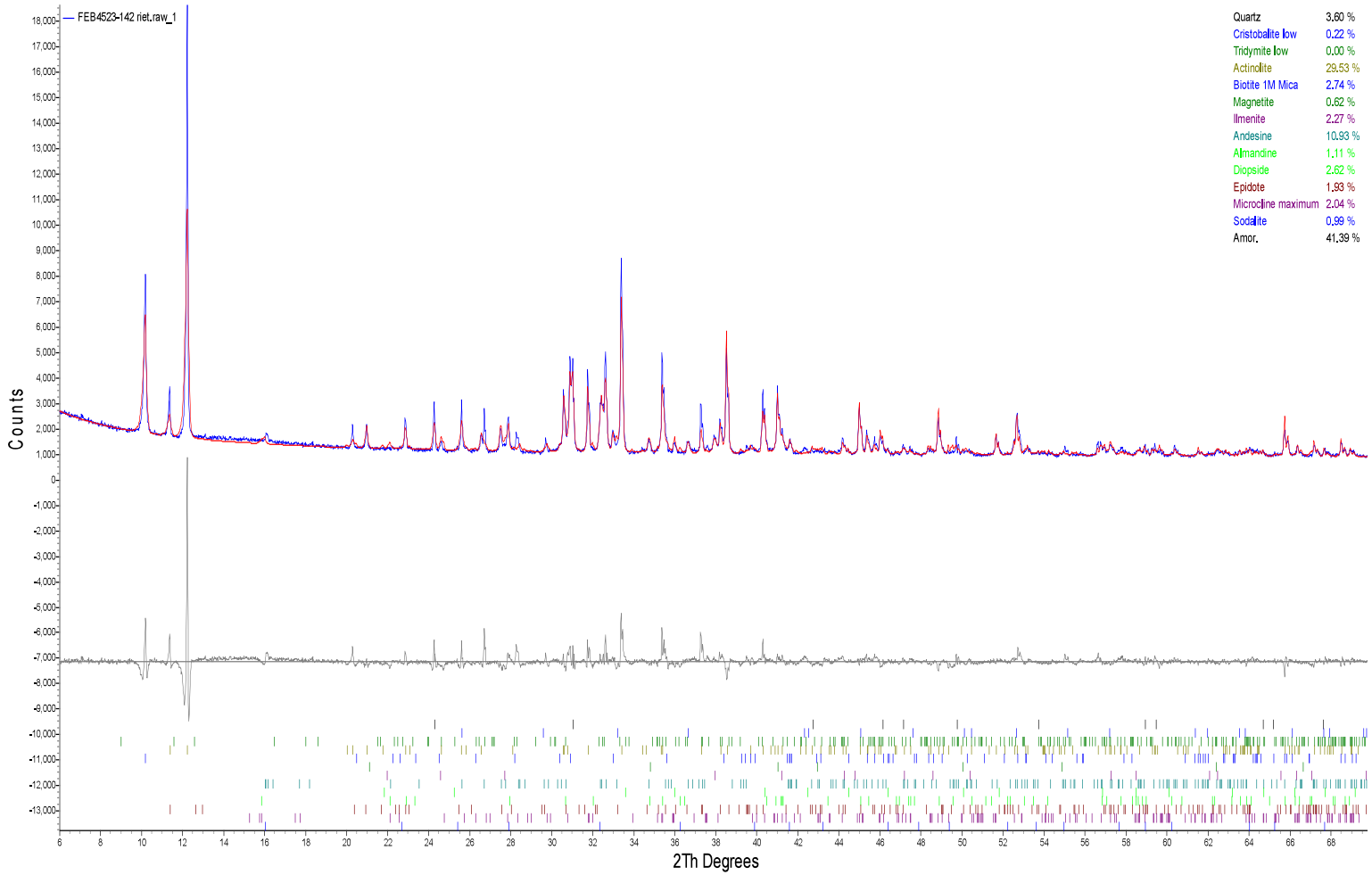
BL-12-29-AMP-115-120



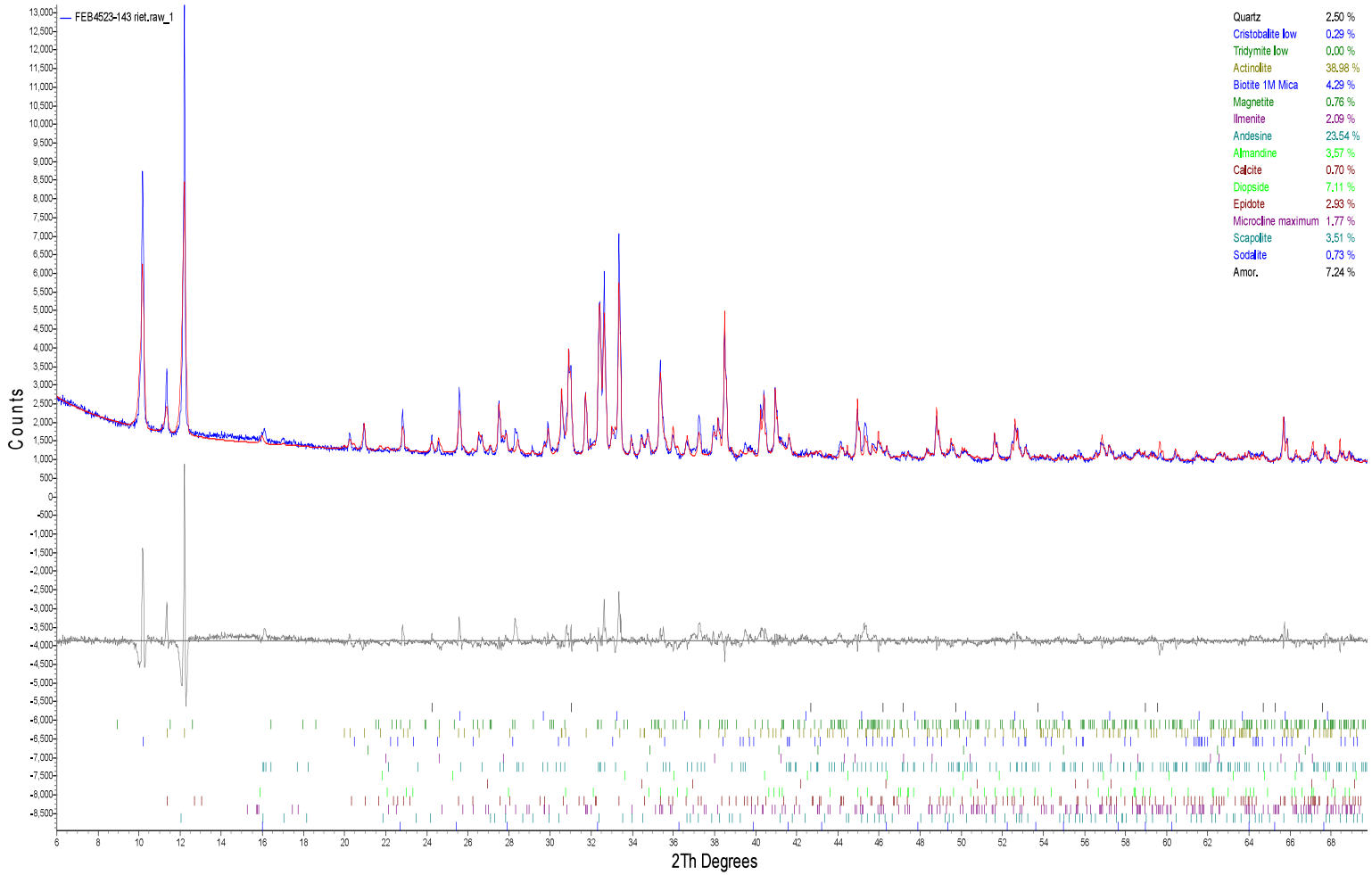
BL-12-29-GN-315-320



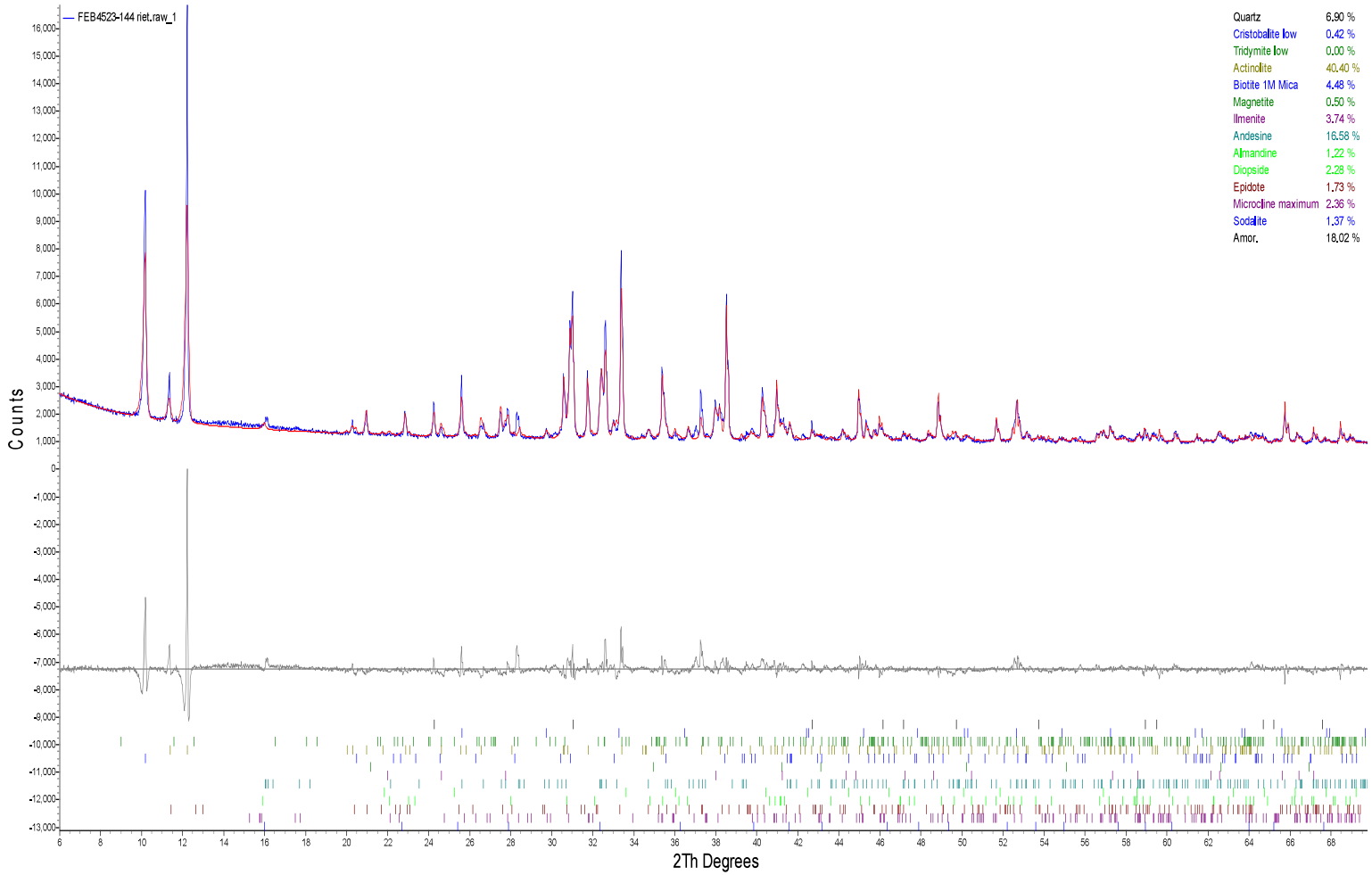
BL-12-31-AMP-100-105



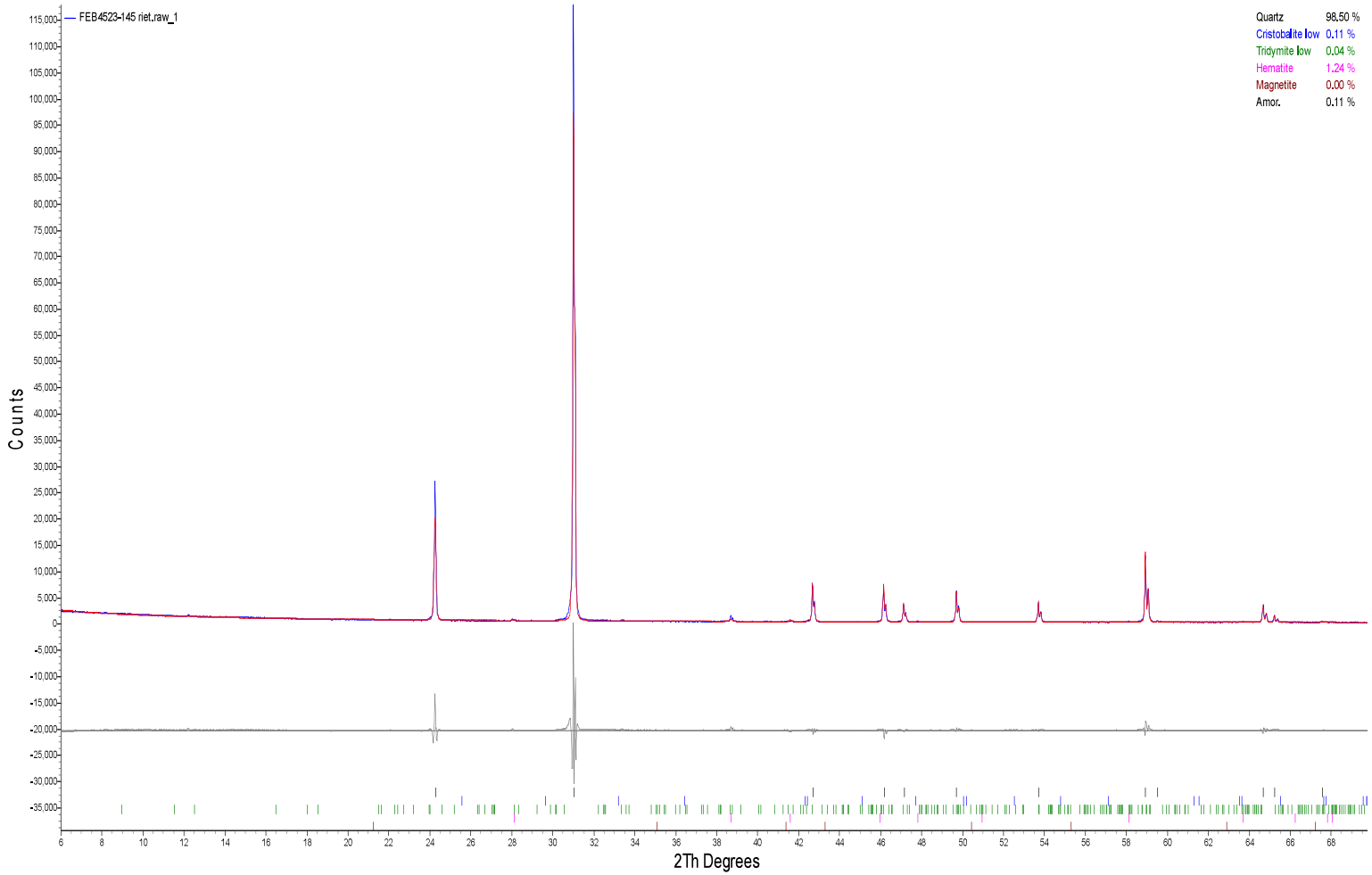
BL-12-31-AMP-160-165



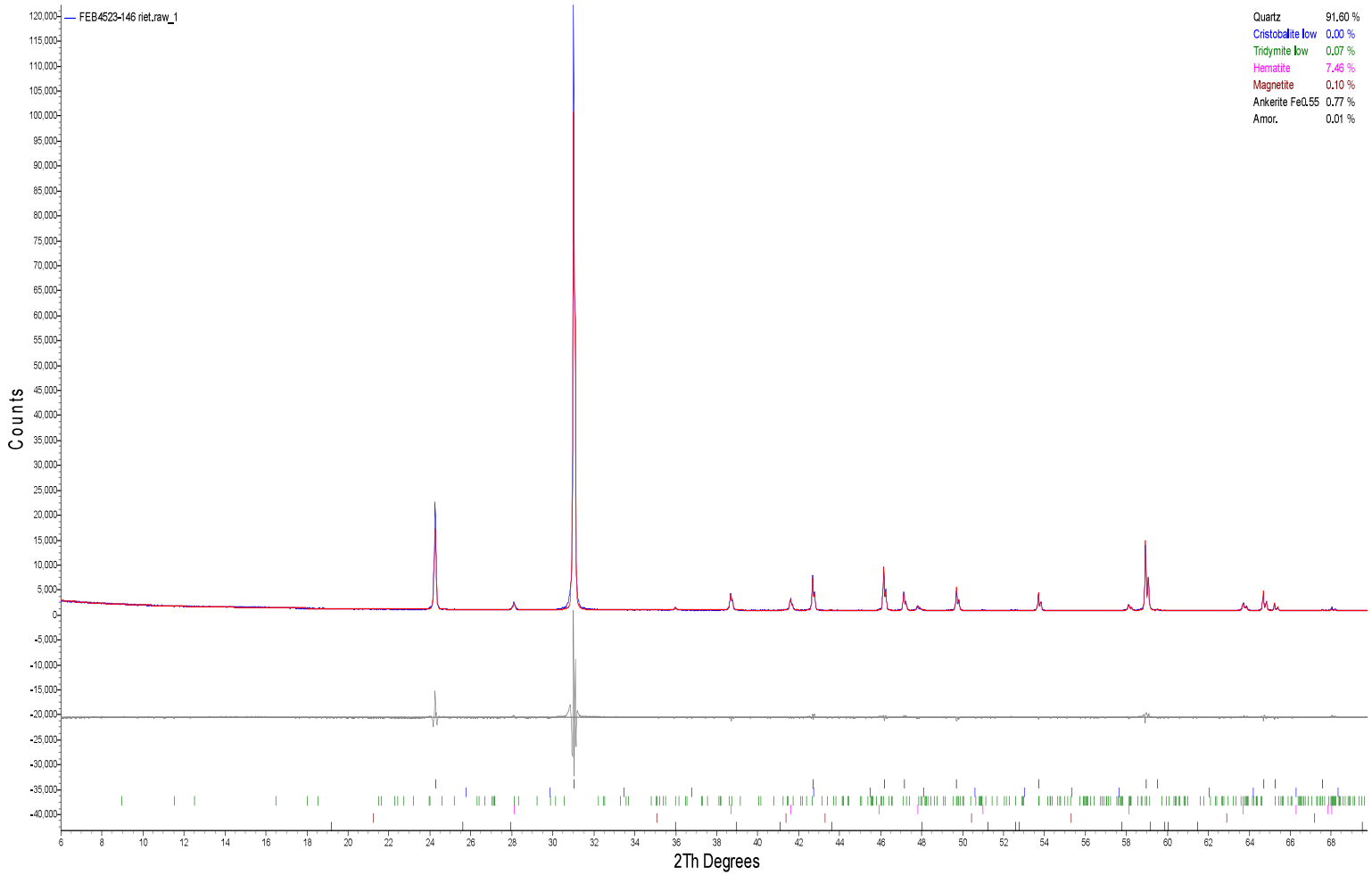
BL-12-31-AMP-230-235



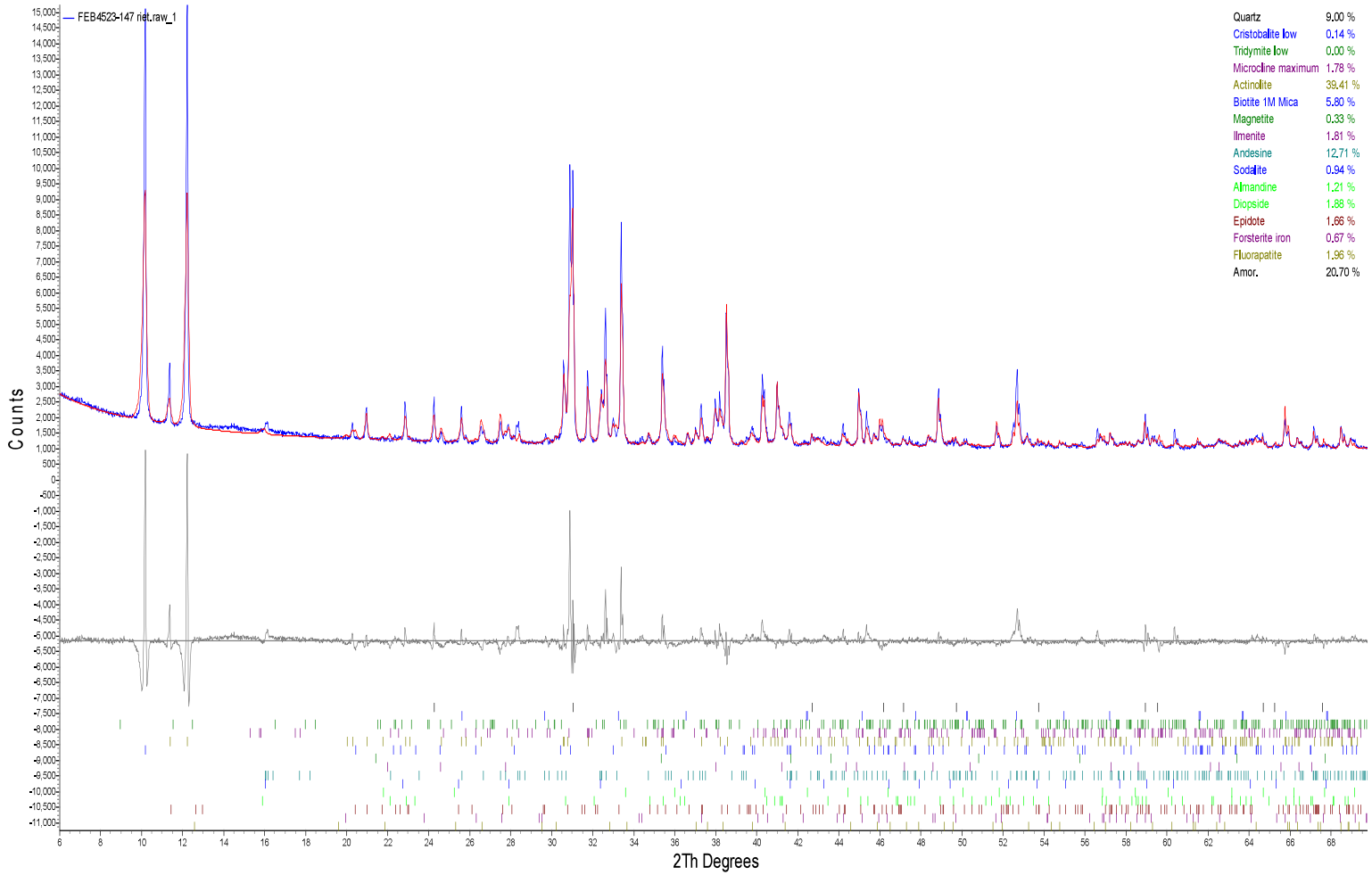
BL-12-31-QR-268-273



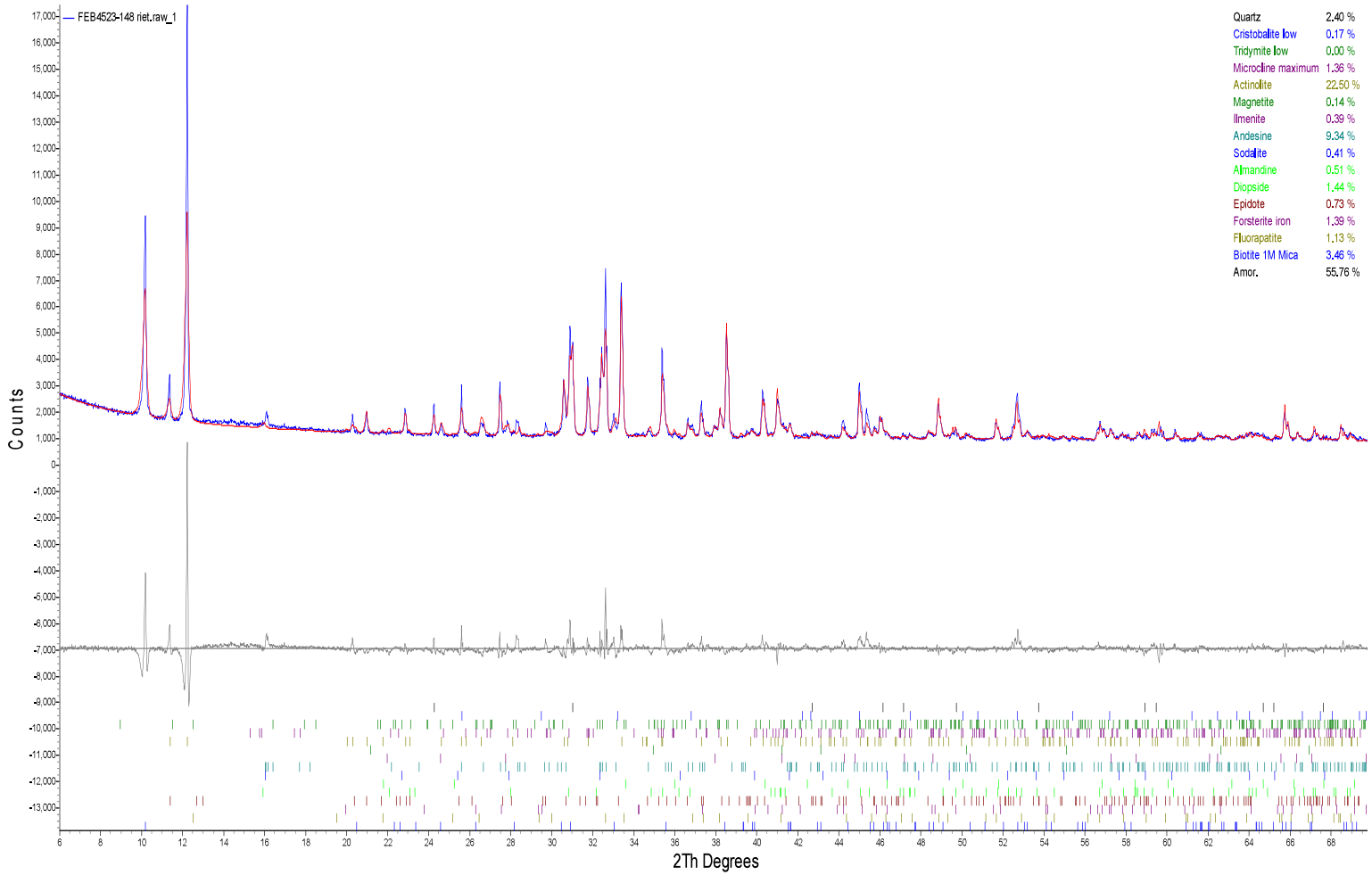
BL-12-38-QRIF-100-105

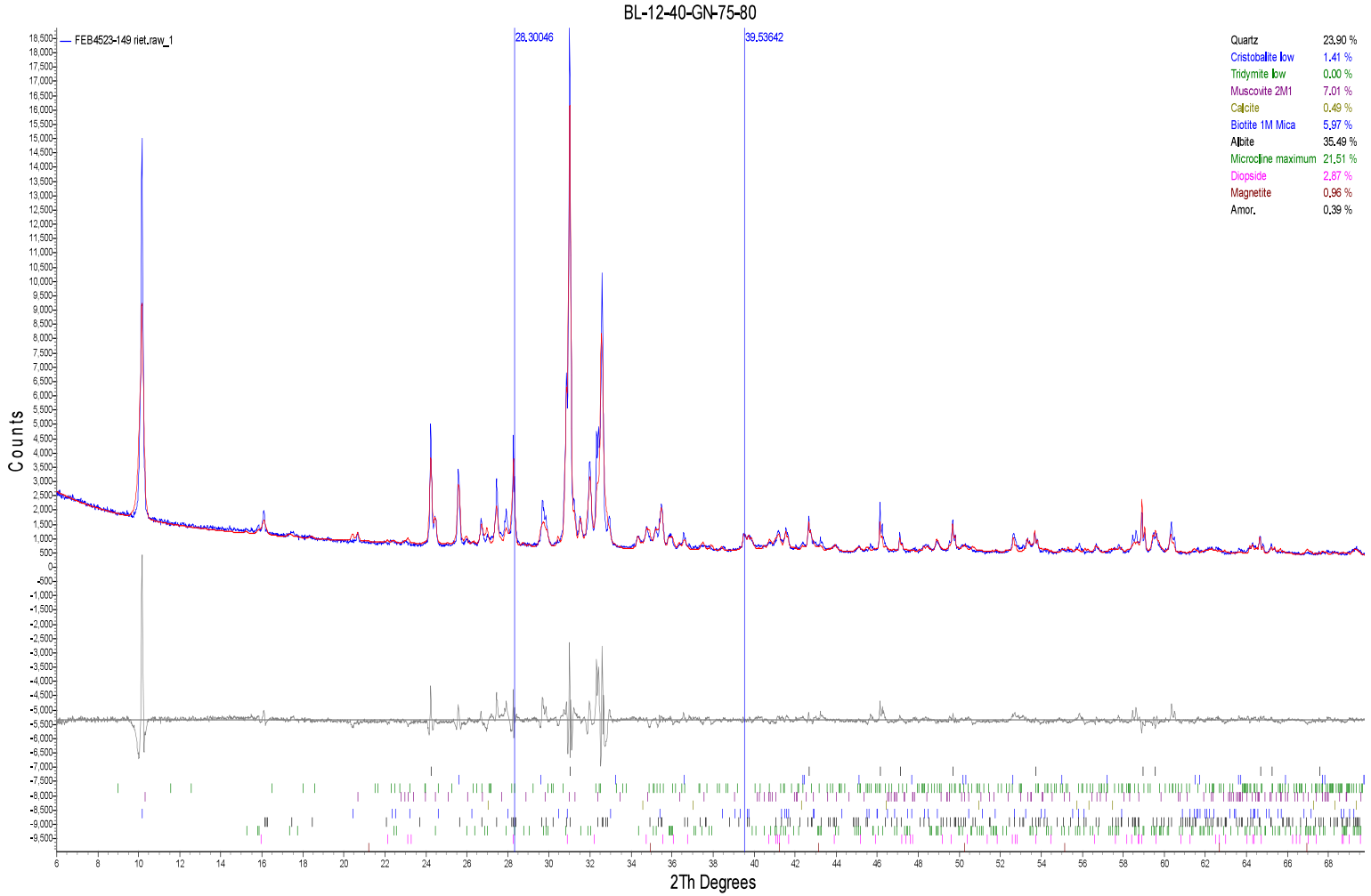


BL-12-38-AMP-130-135

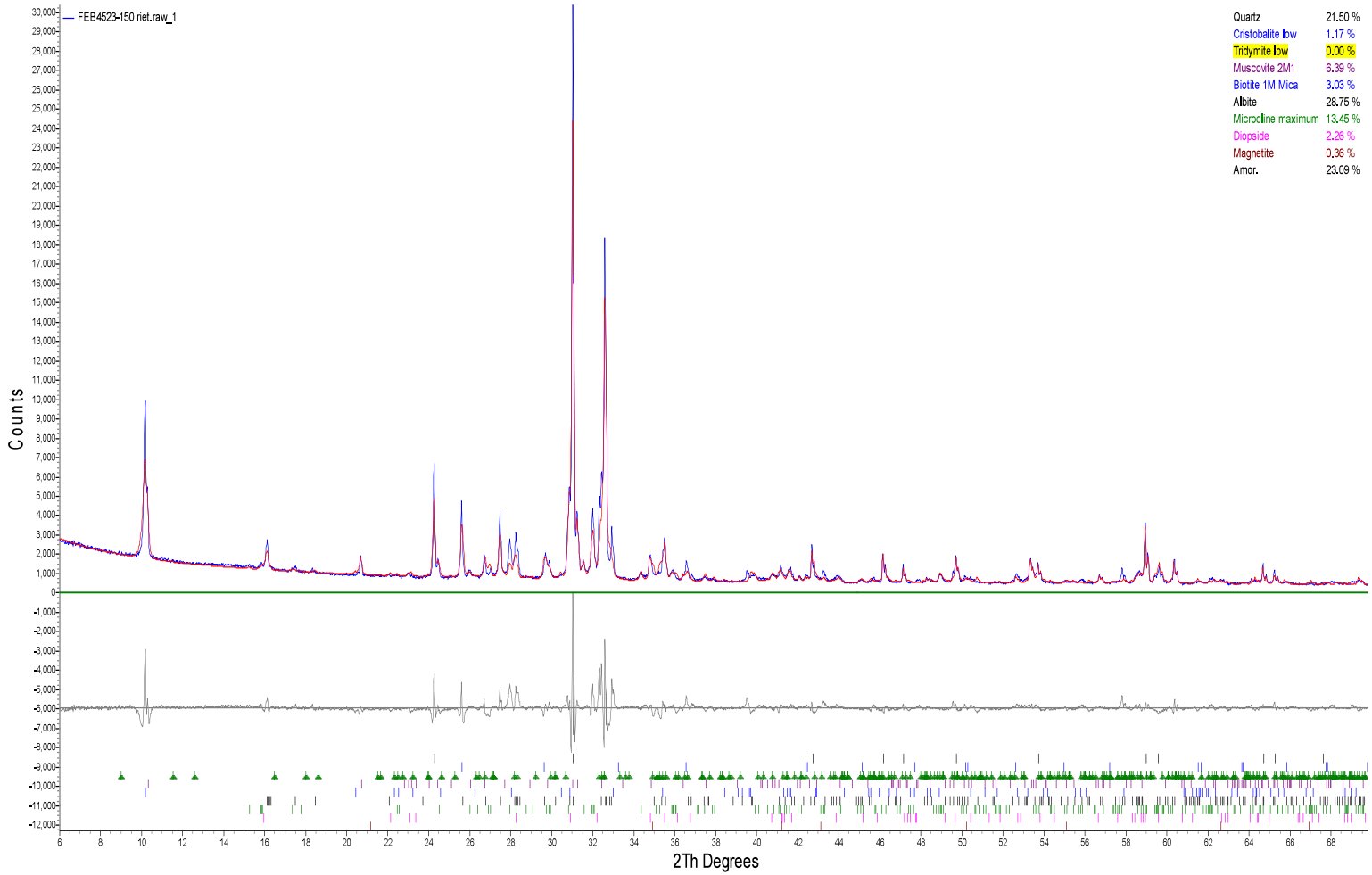


BL-12-38-AMP-200-205

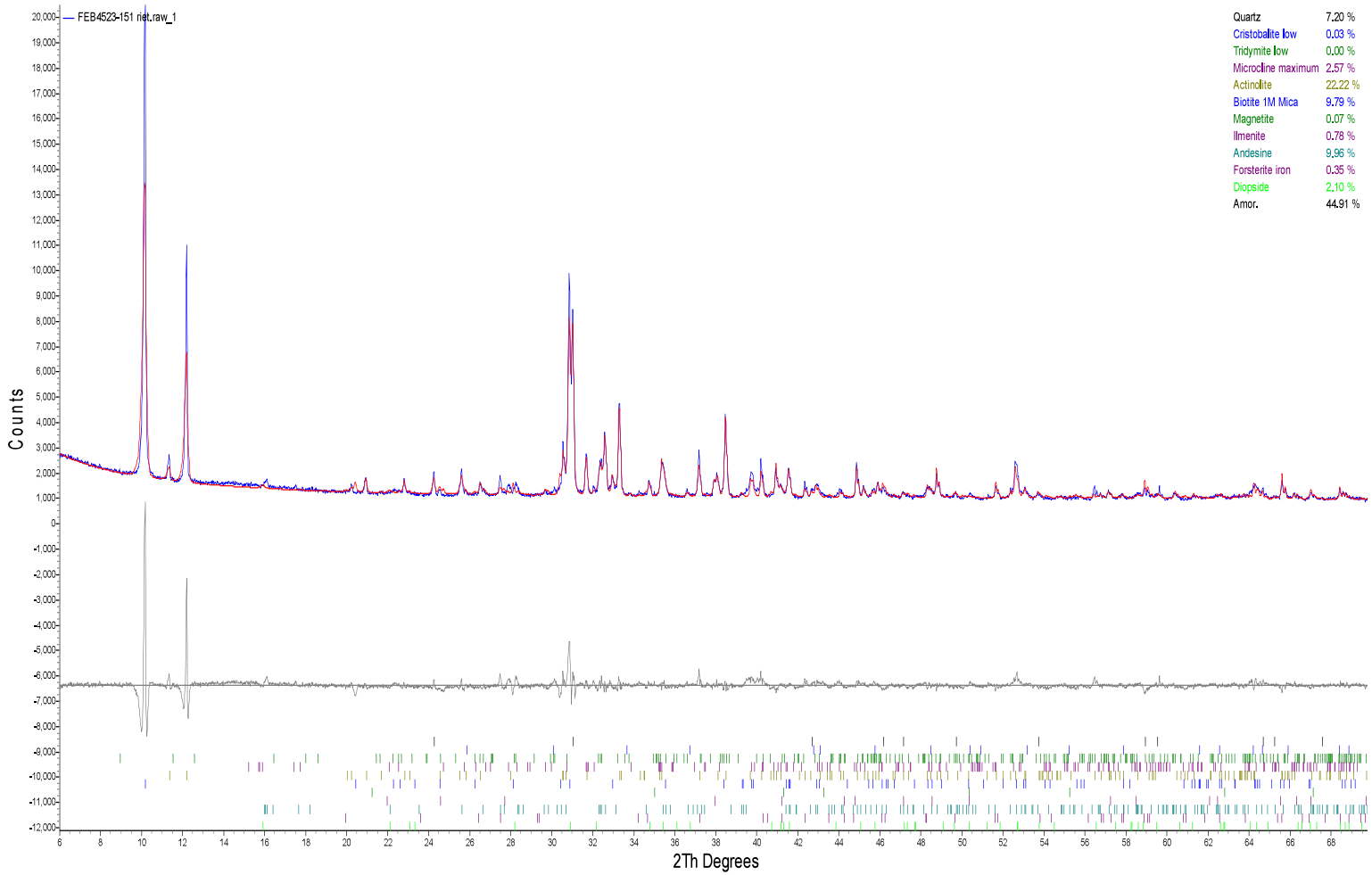



BL-12-40-GN-75-80
FEB4523-149 riet.raw_1
28.30046
39.53642
Quartz 23.90 %
Cristobalite low 1.41 %
Tridymite low 0.00 %
Muscovite 2M1 7.01 %
Calcite 0.49 %
Biotite 1M Mica 5.97 %
Albite 35.49 %
Microcline maximum 21.51 %
Diopside 2.67 %
Magnetite 0.96 %
Amor. 0.39 %
Counts
2Th Degrees

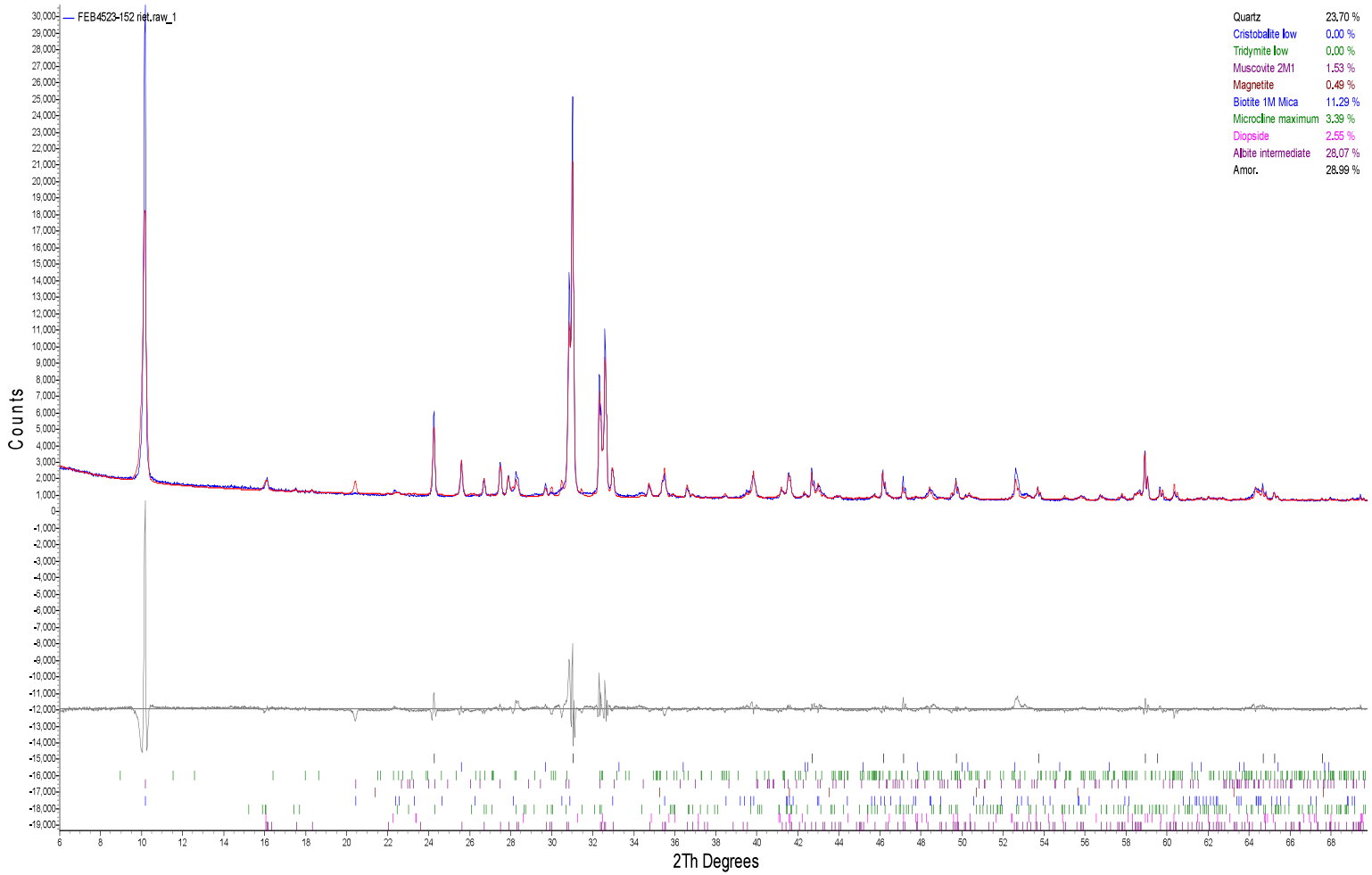
BL-12-40-QRMS-90-95



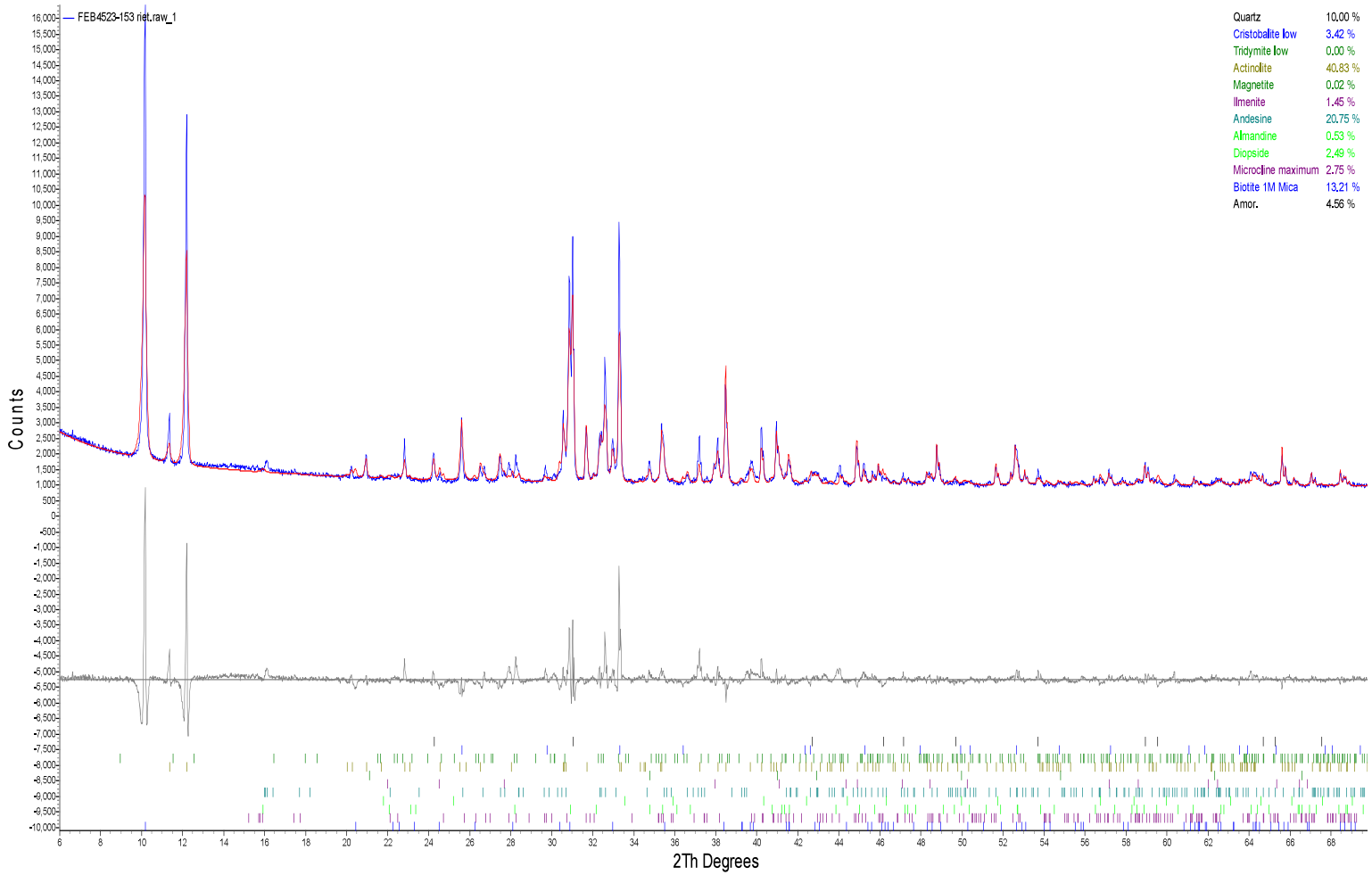
BL-12-40-AMP-119-124



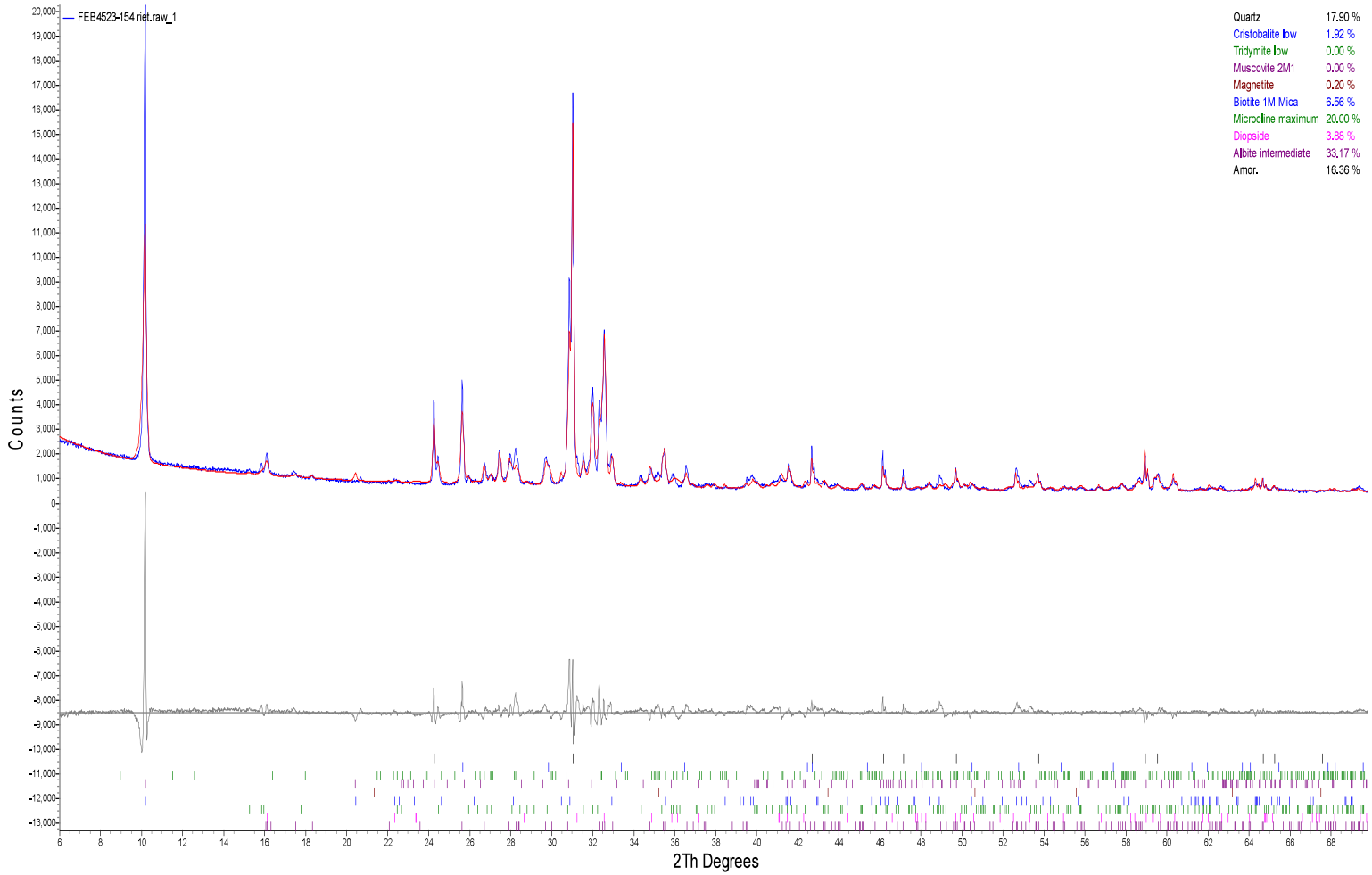
BL-12-40-GN-130-135



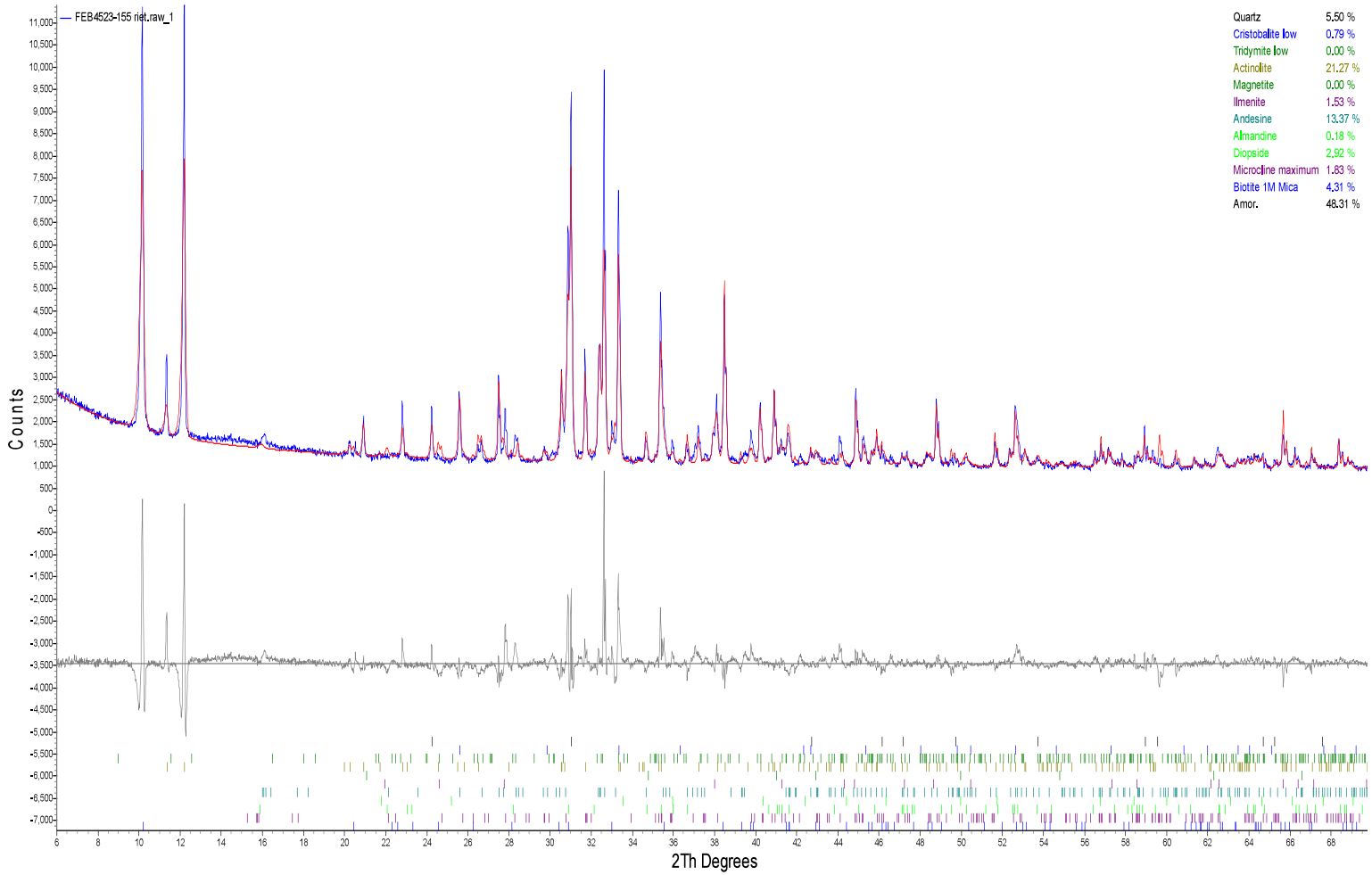
BL-12-40-AMP-160-165



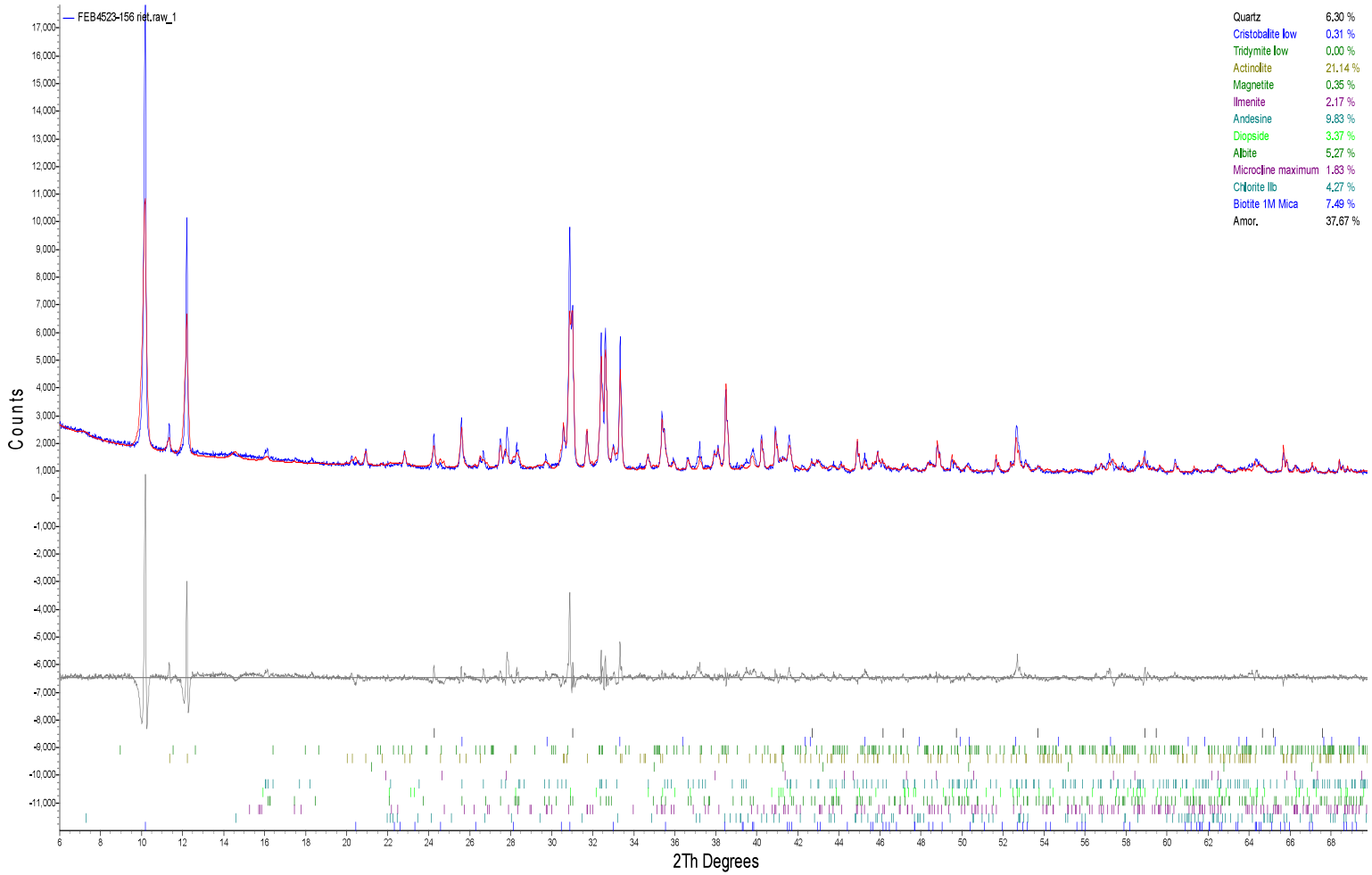
BL-12-40-GN-205-210



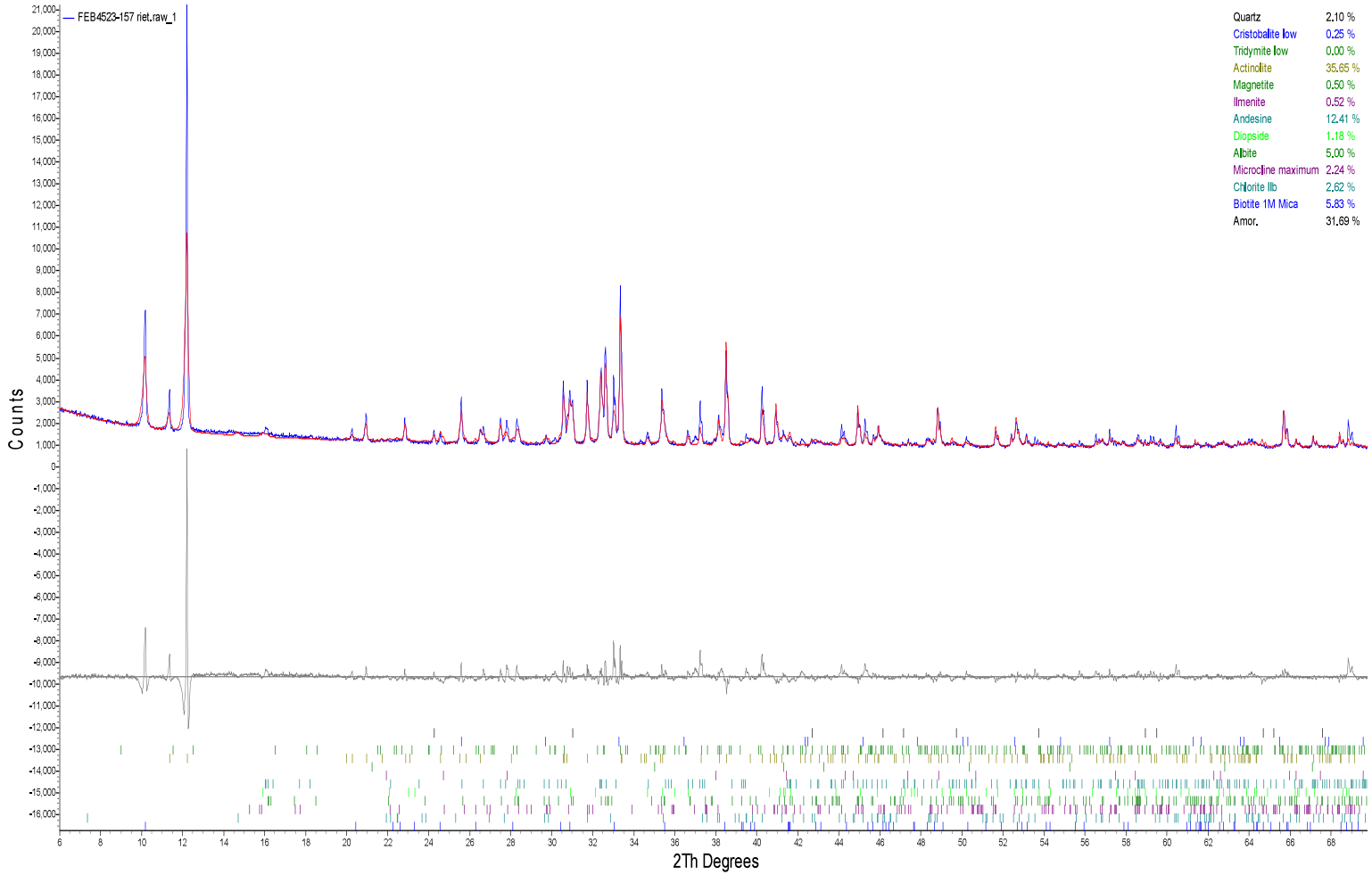
BL-12-42-AMP-14-19



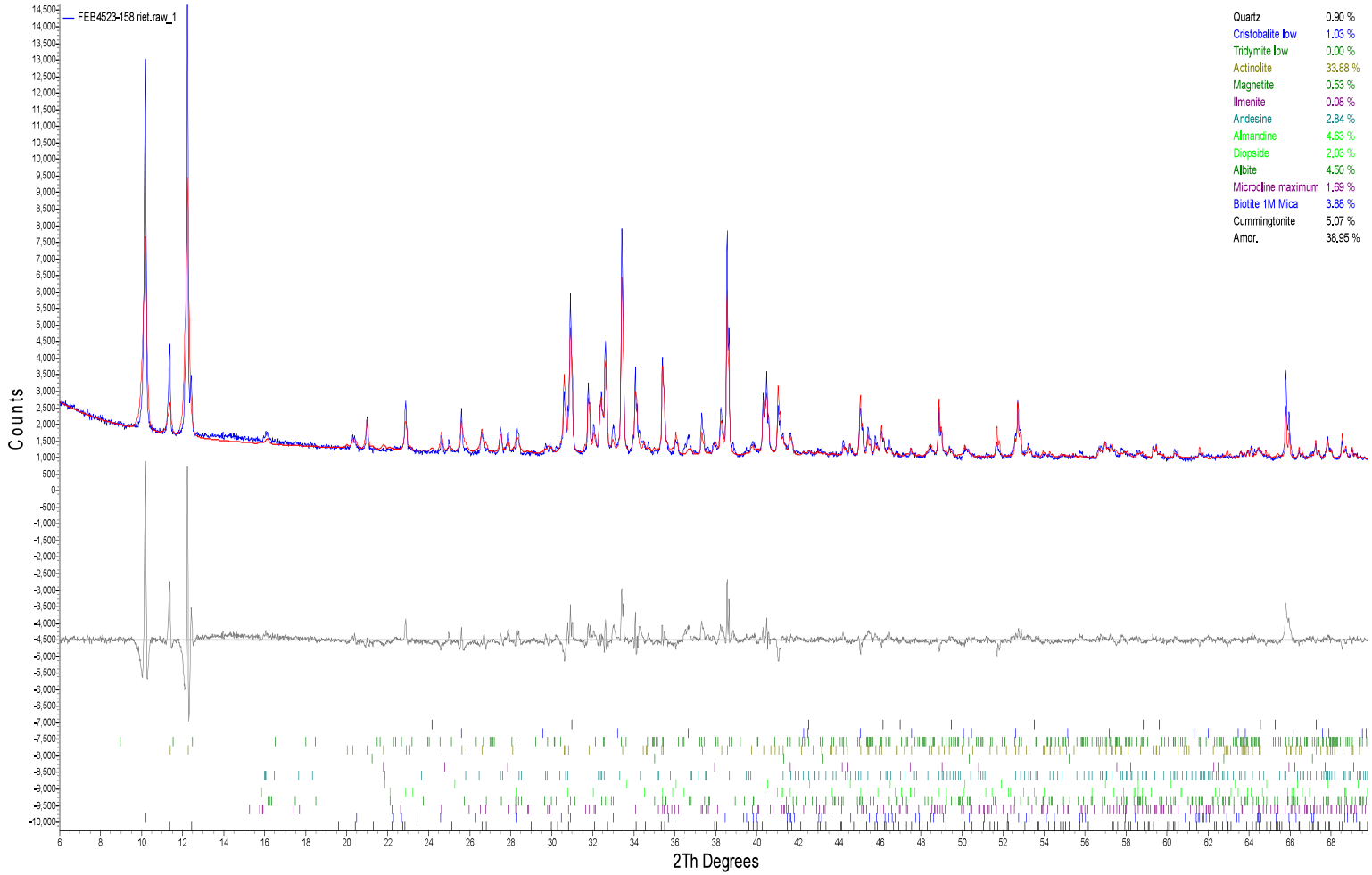
BL-12-42-AMP-60-65



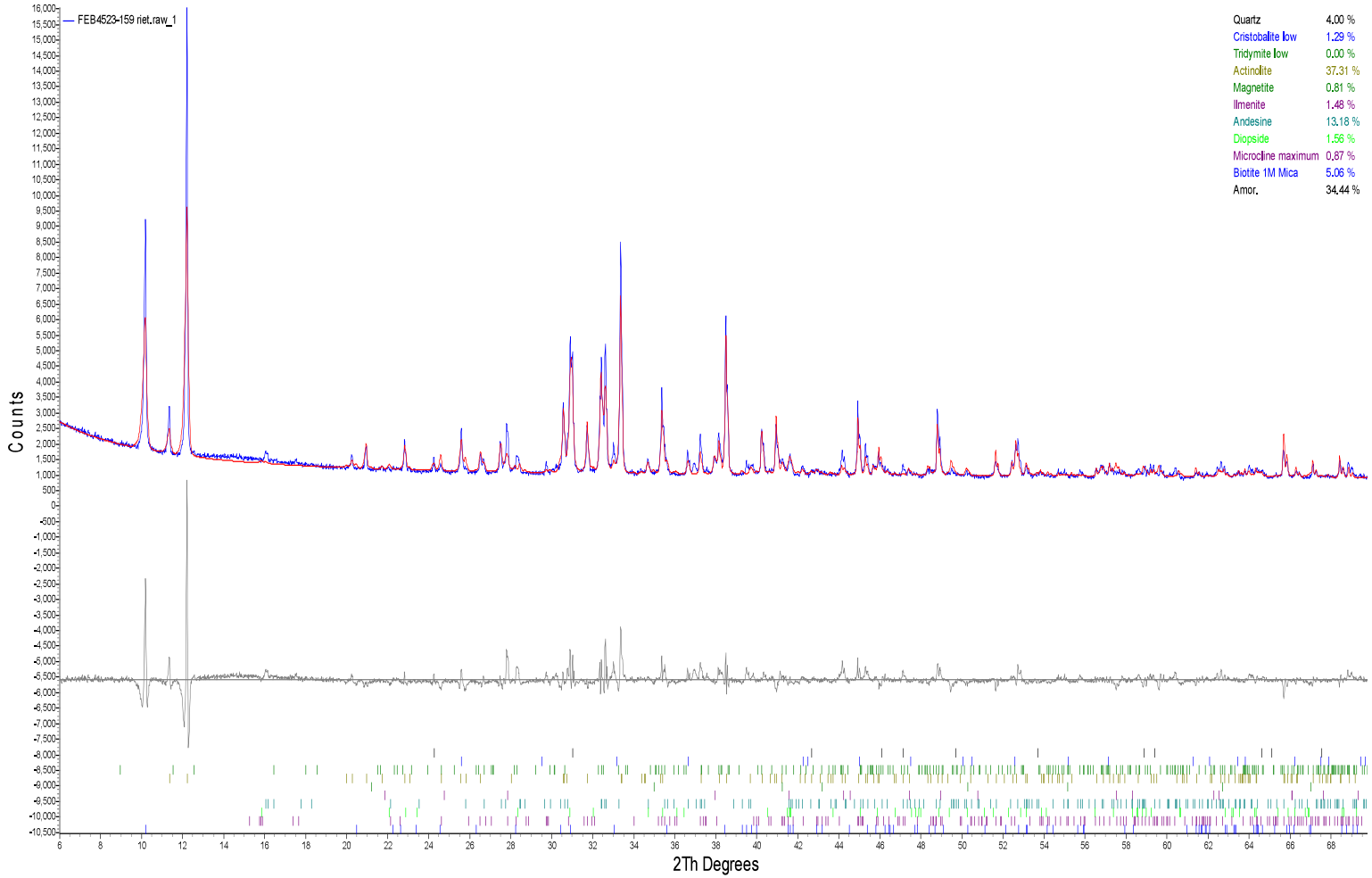
BL-12-42-AMP-100-105



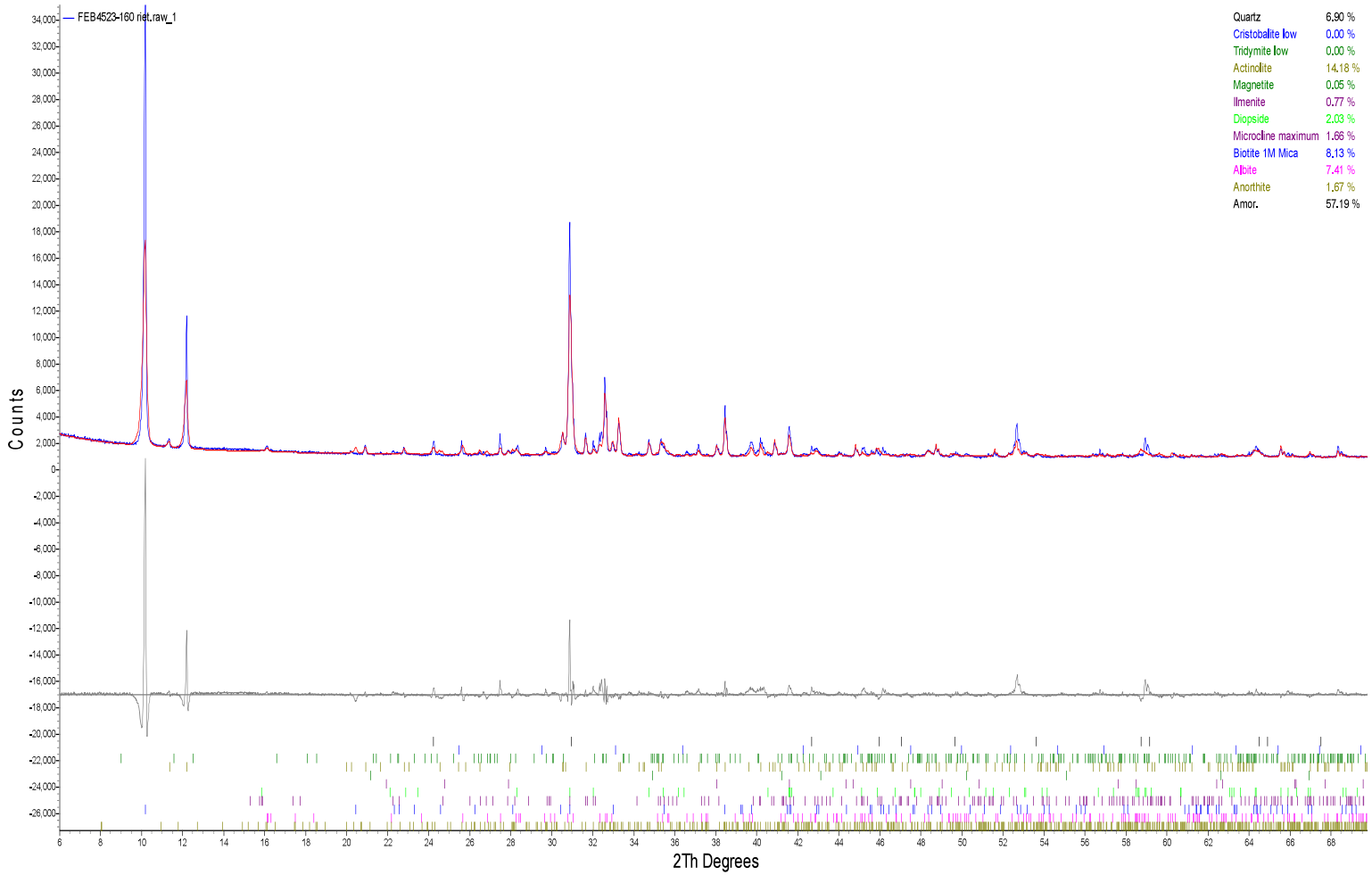
BL-12-42-AMP-200-205



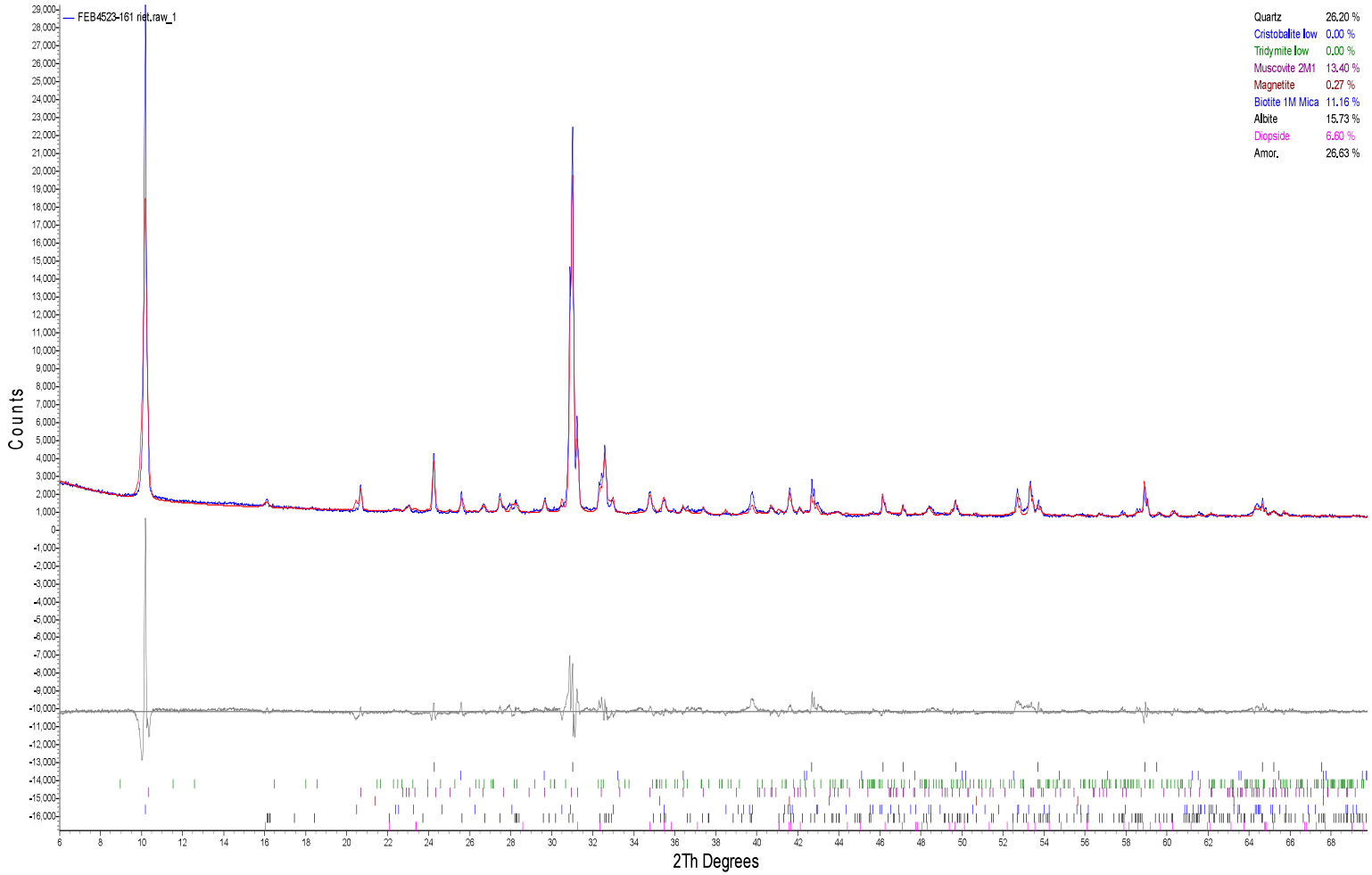
BL-12-42-AMP-295-300



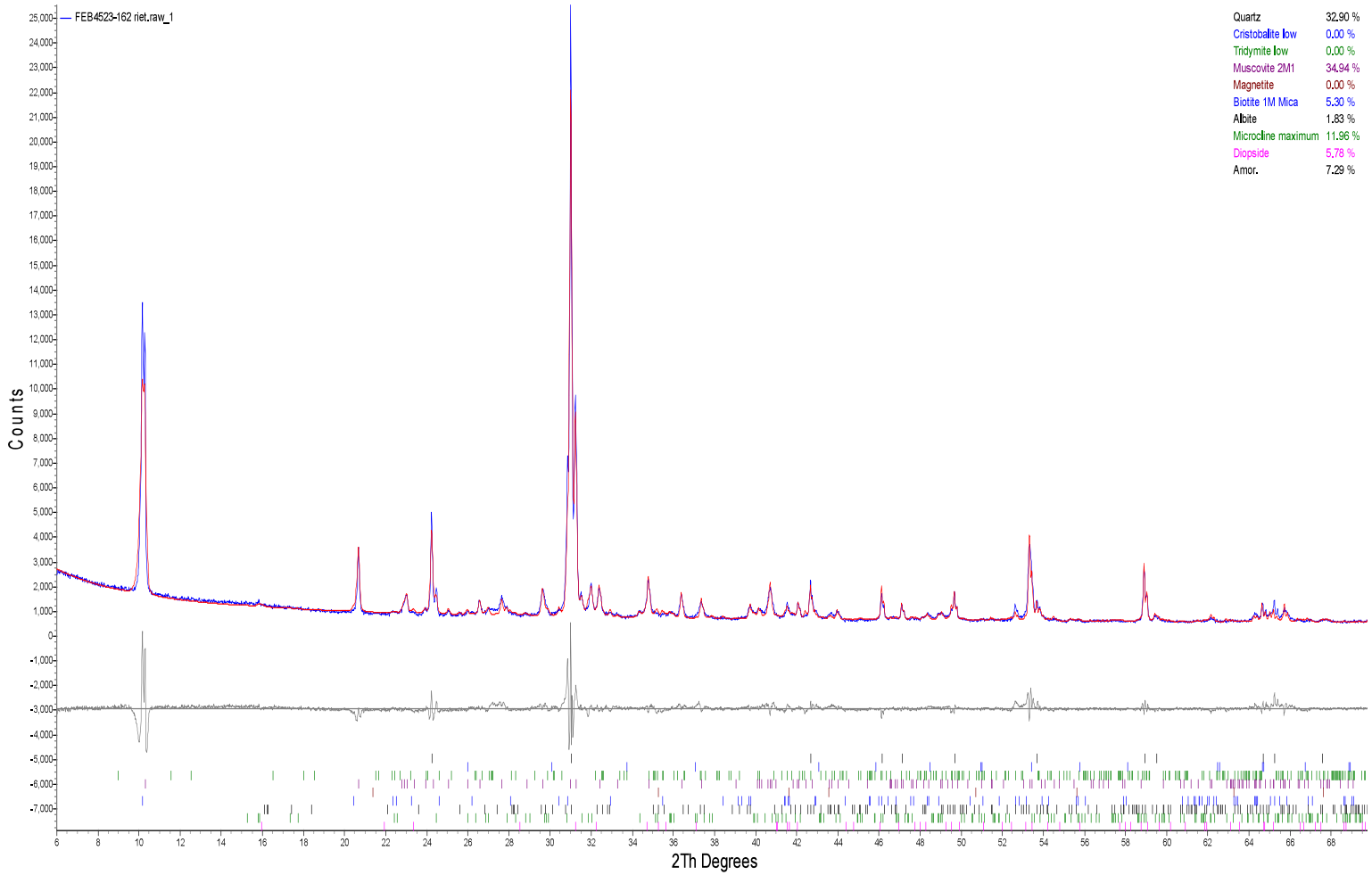
BL-12-43-AMP-35-40



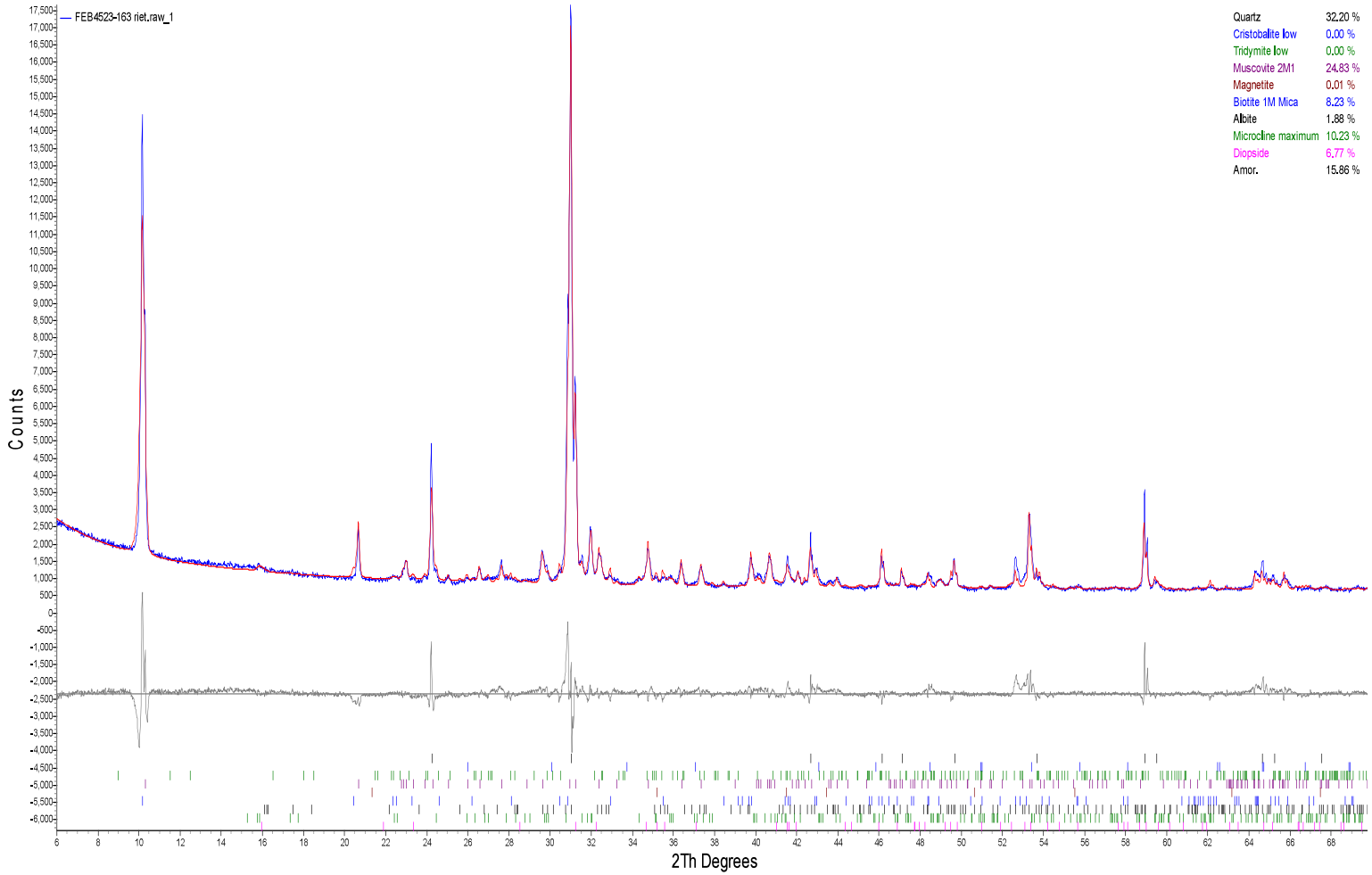
BL-12-43-GN-63-68



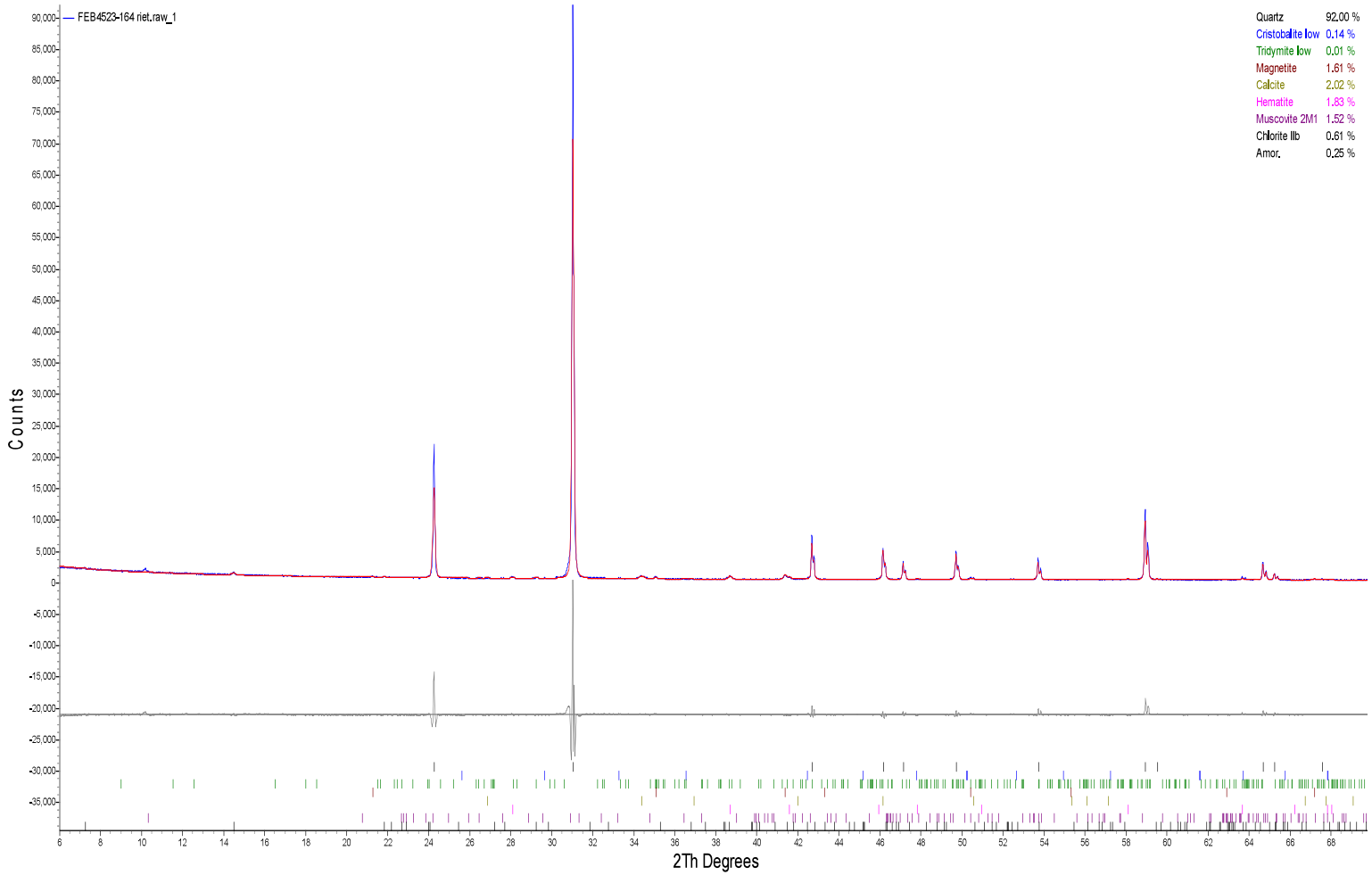
BL-12-43-GN-105-110



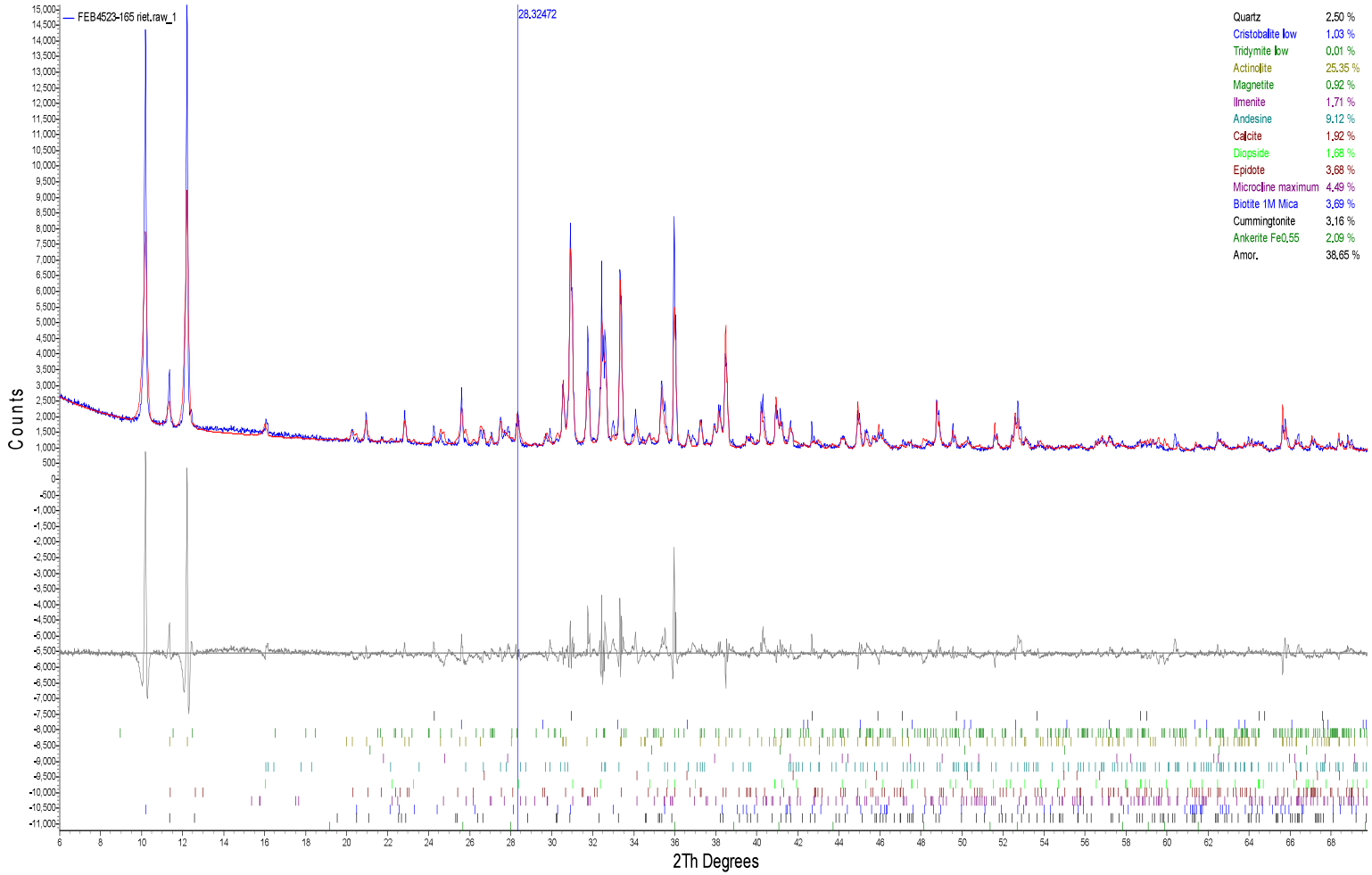
BL-12-43-GN-160-165



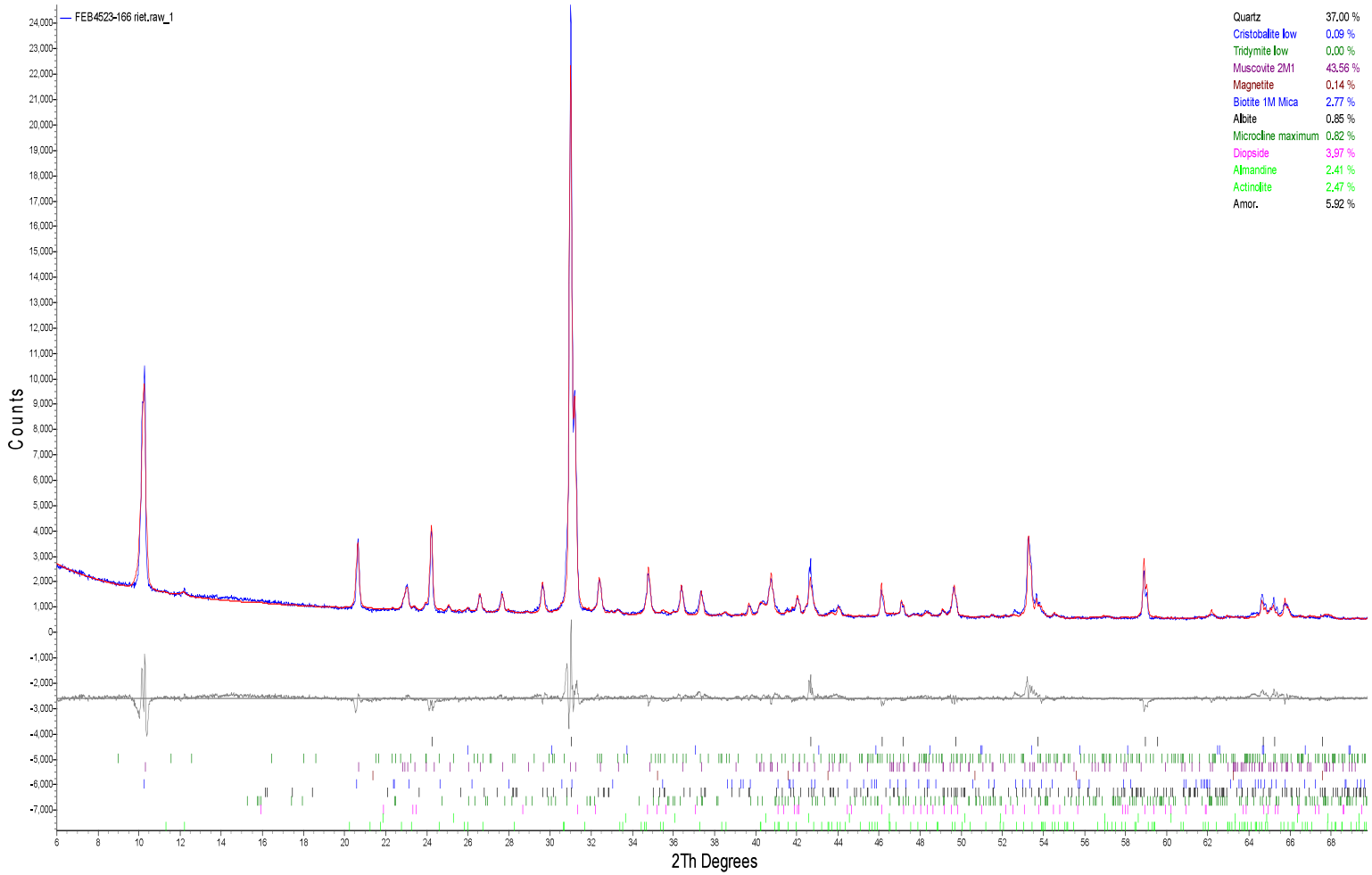
BL-12-43-QR-189-194



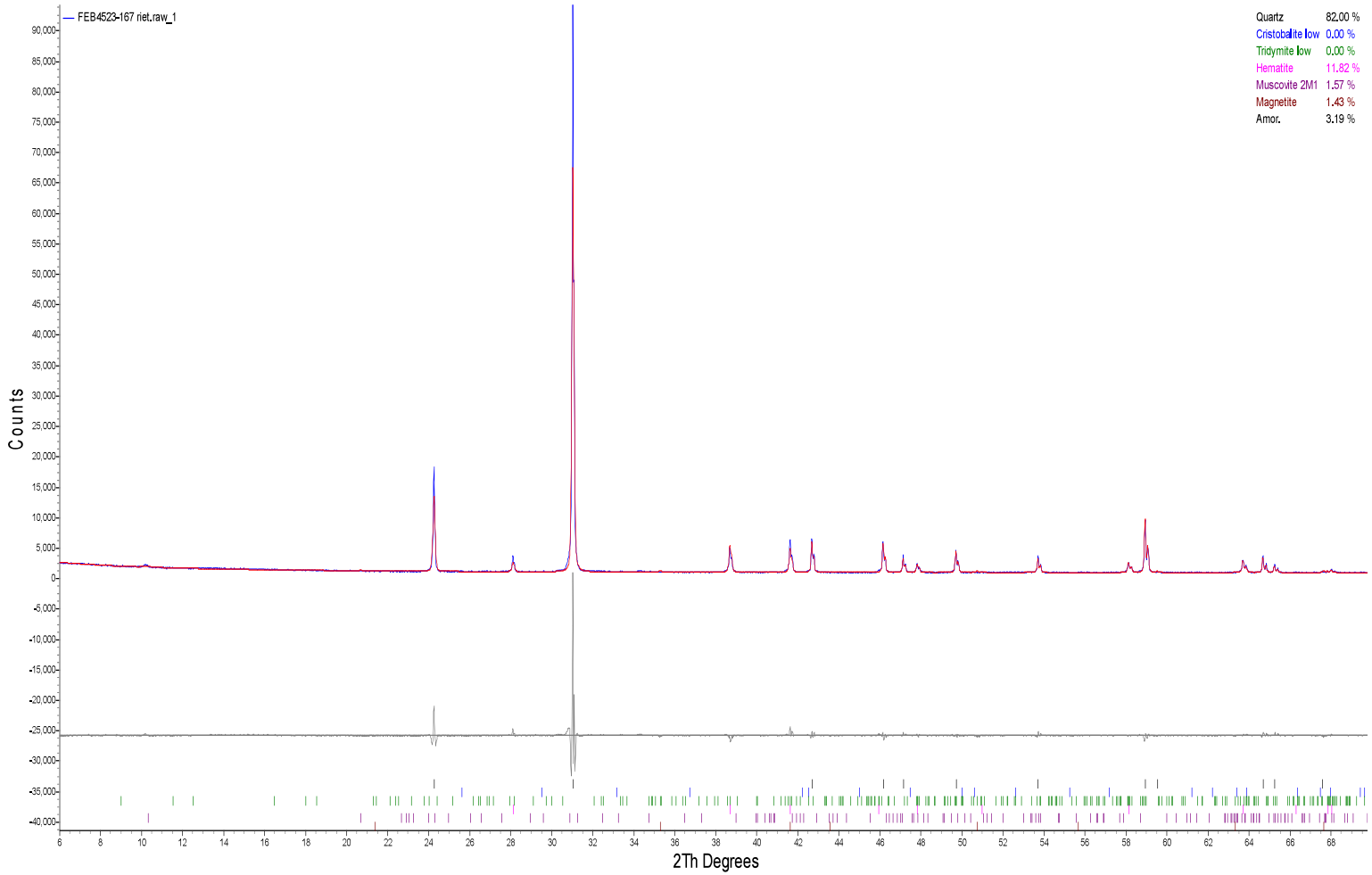
BL-12-56-AMP-45-50



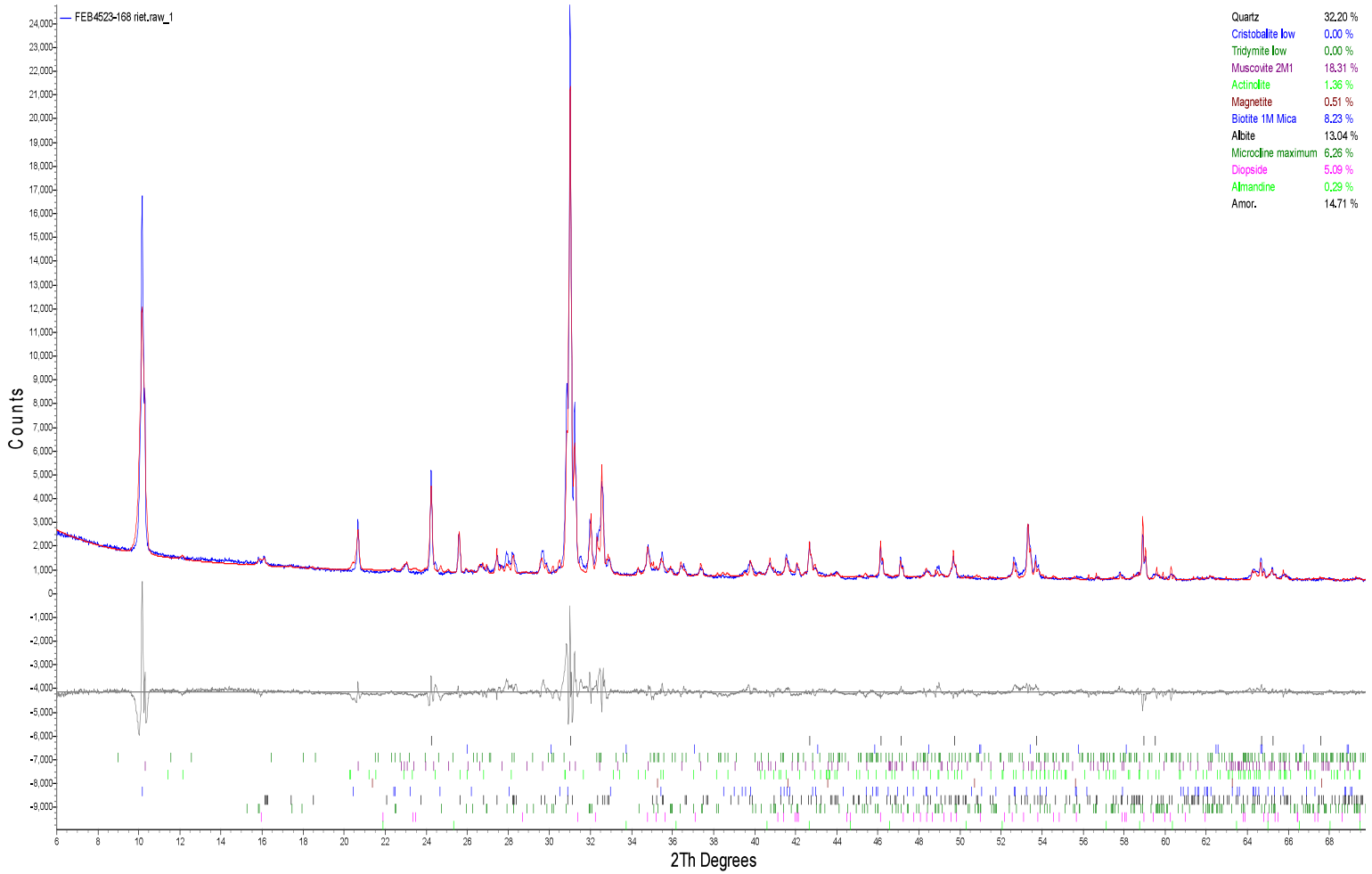
BL-12-56-GN-128-133



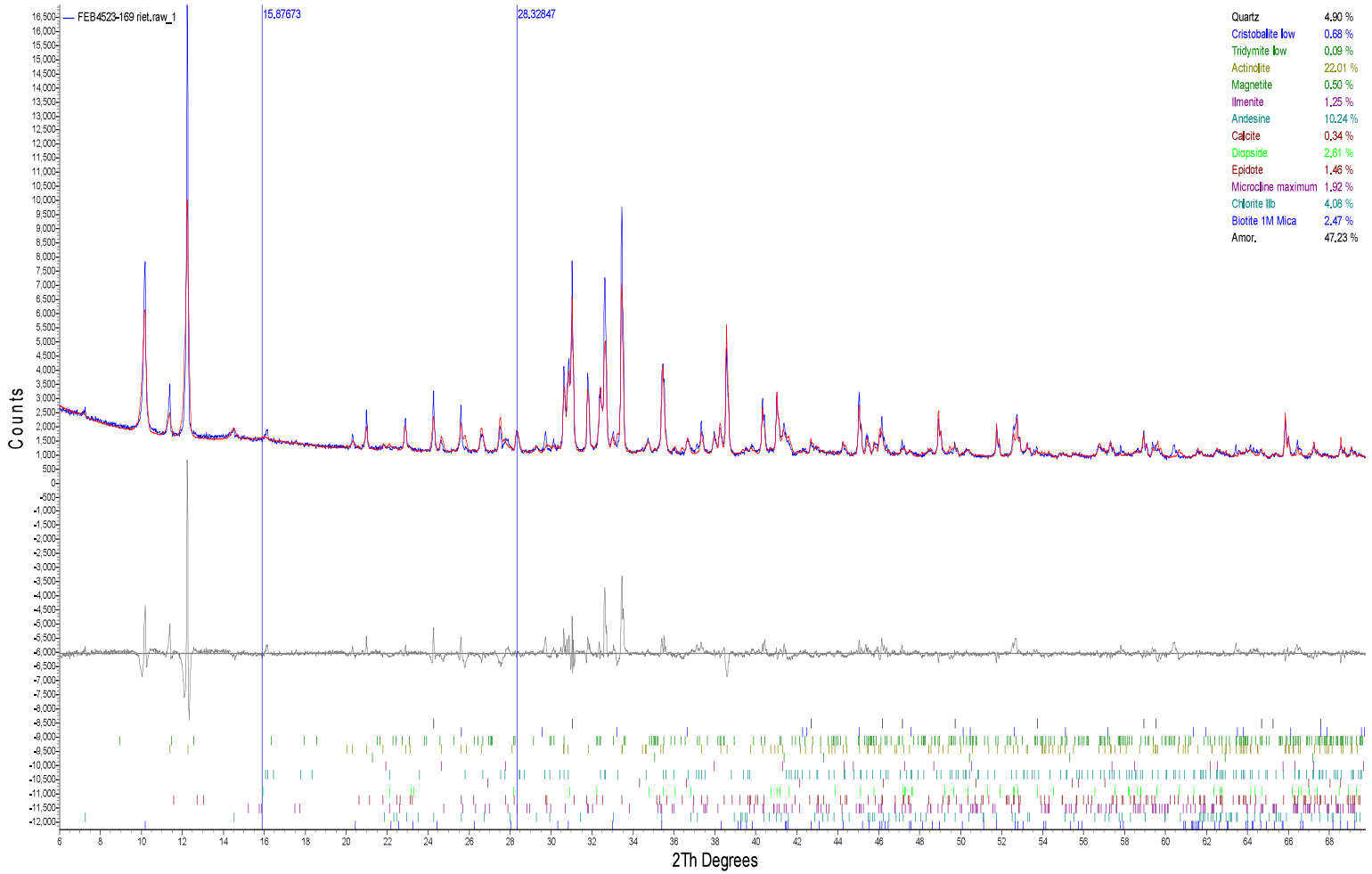
BL-12-61-QRIF-145-150



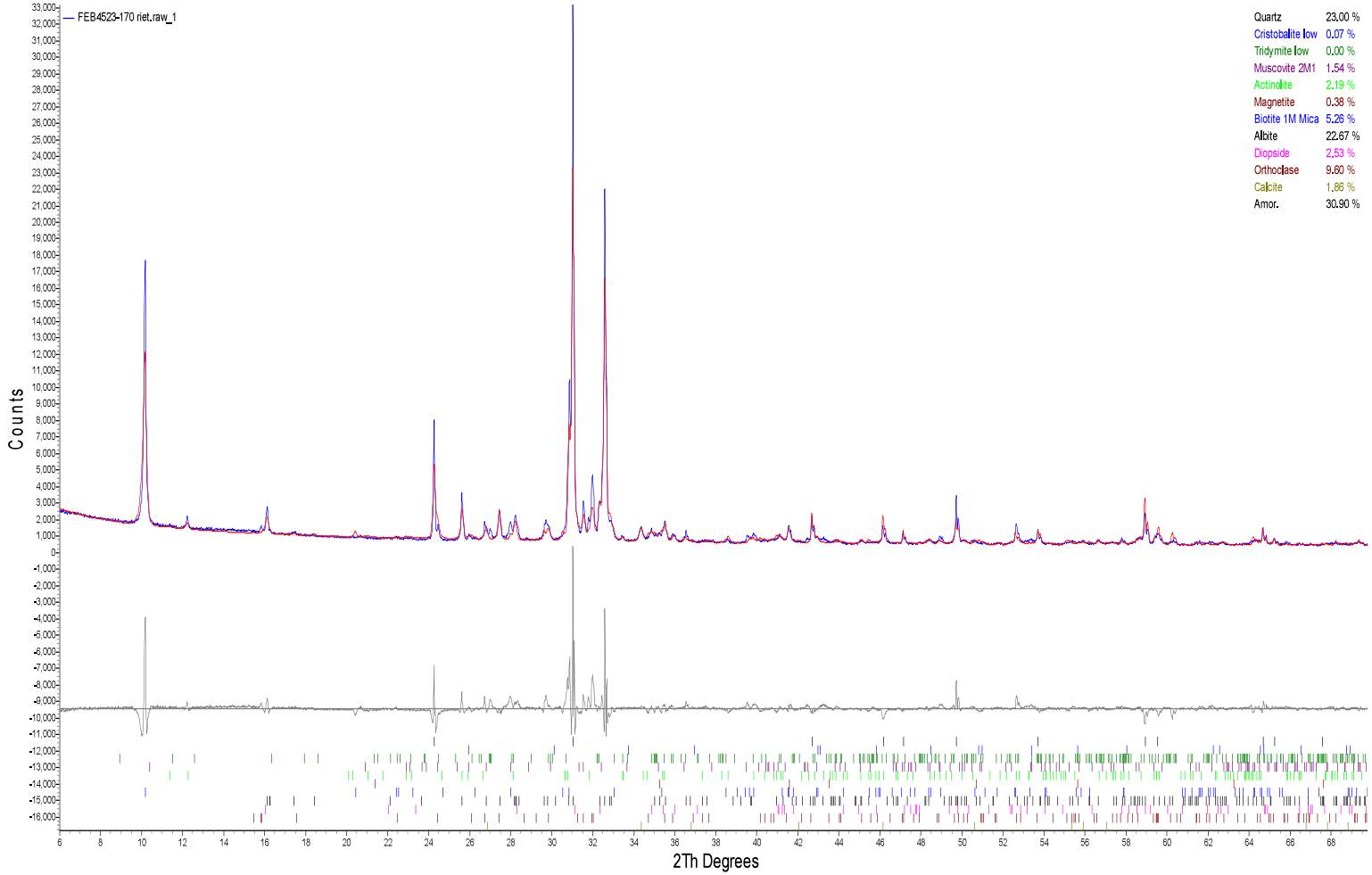
BL-12-61-GN-200-205



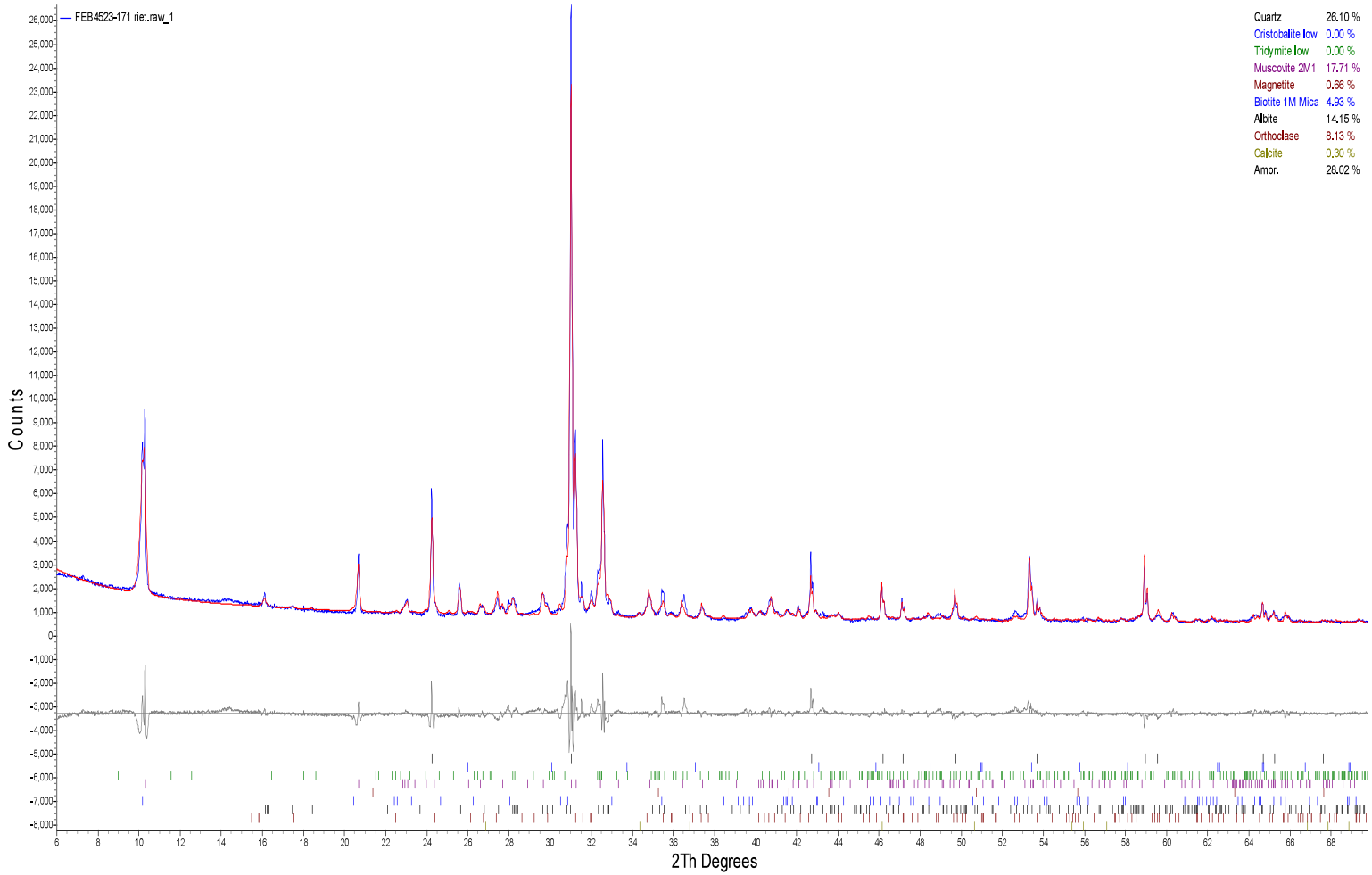
BL-12-61-AMP-218-223



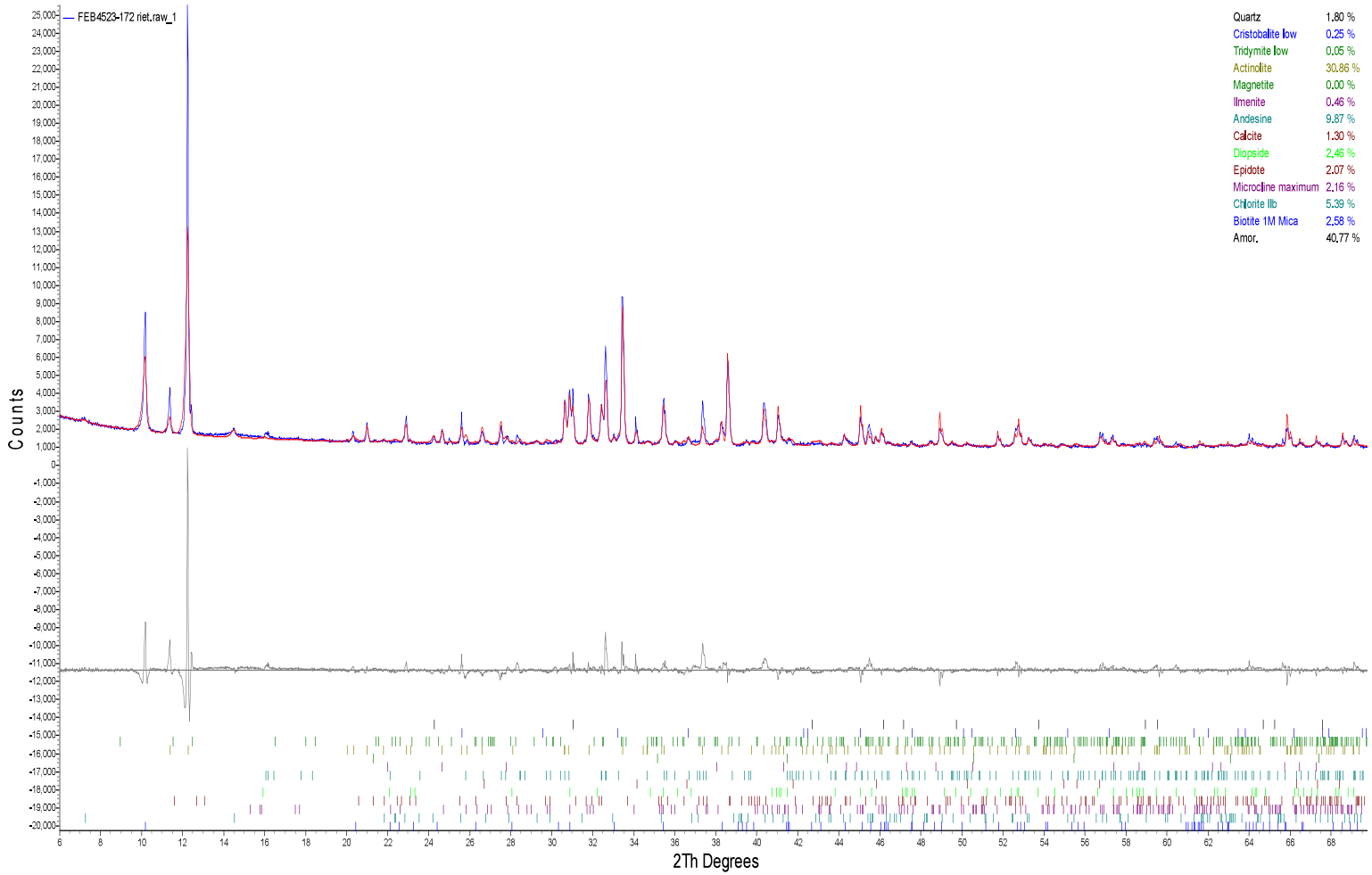
BL-12-61-GN-245-250



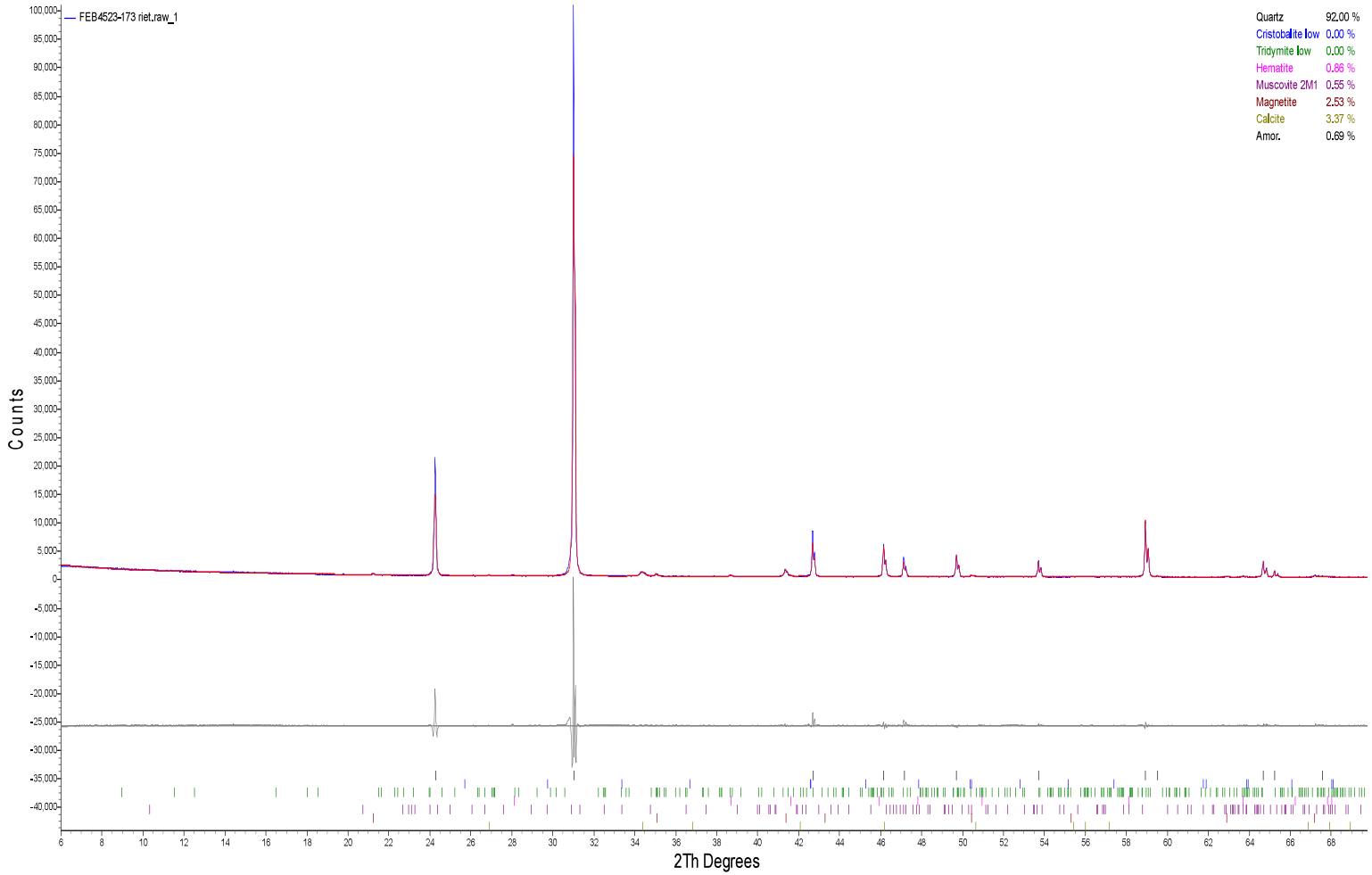
BL-12-70-GN-65-70



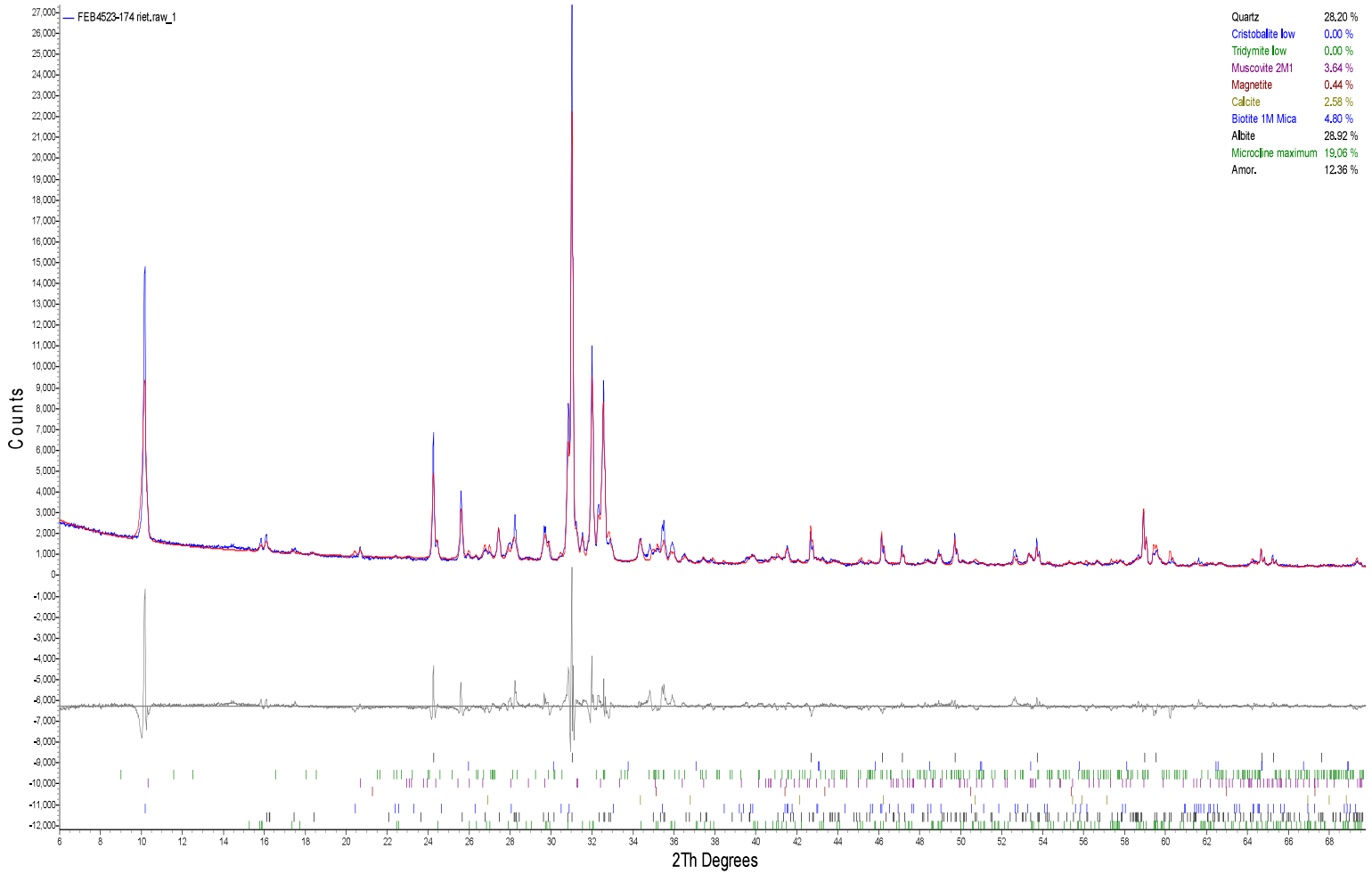
BL-12-70-AMP-90-95



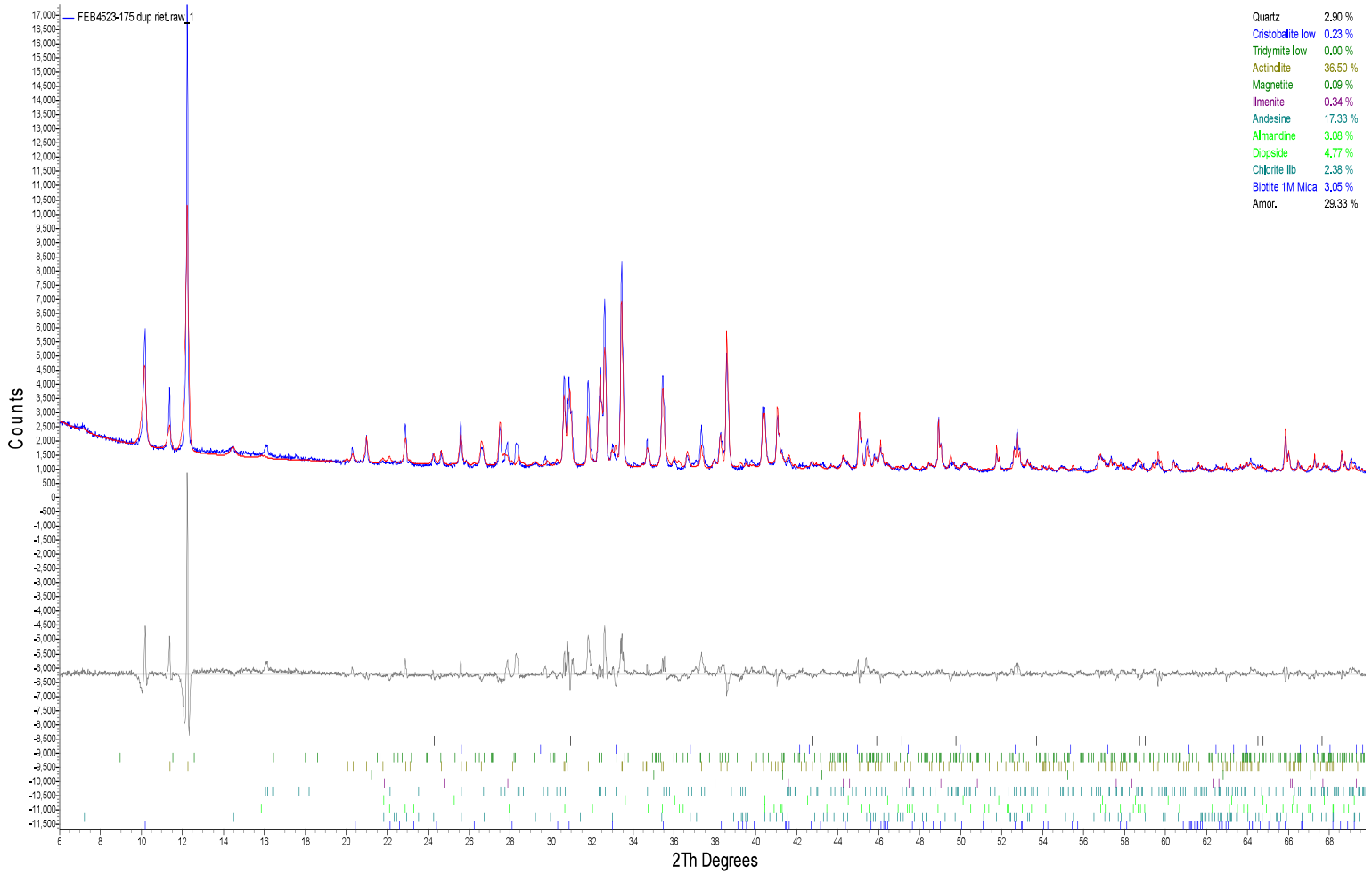
BL-12-70-QR-102-103.5



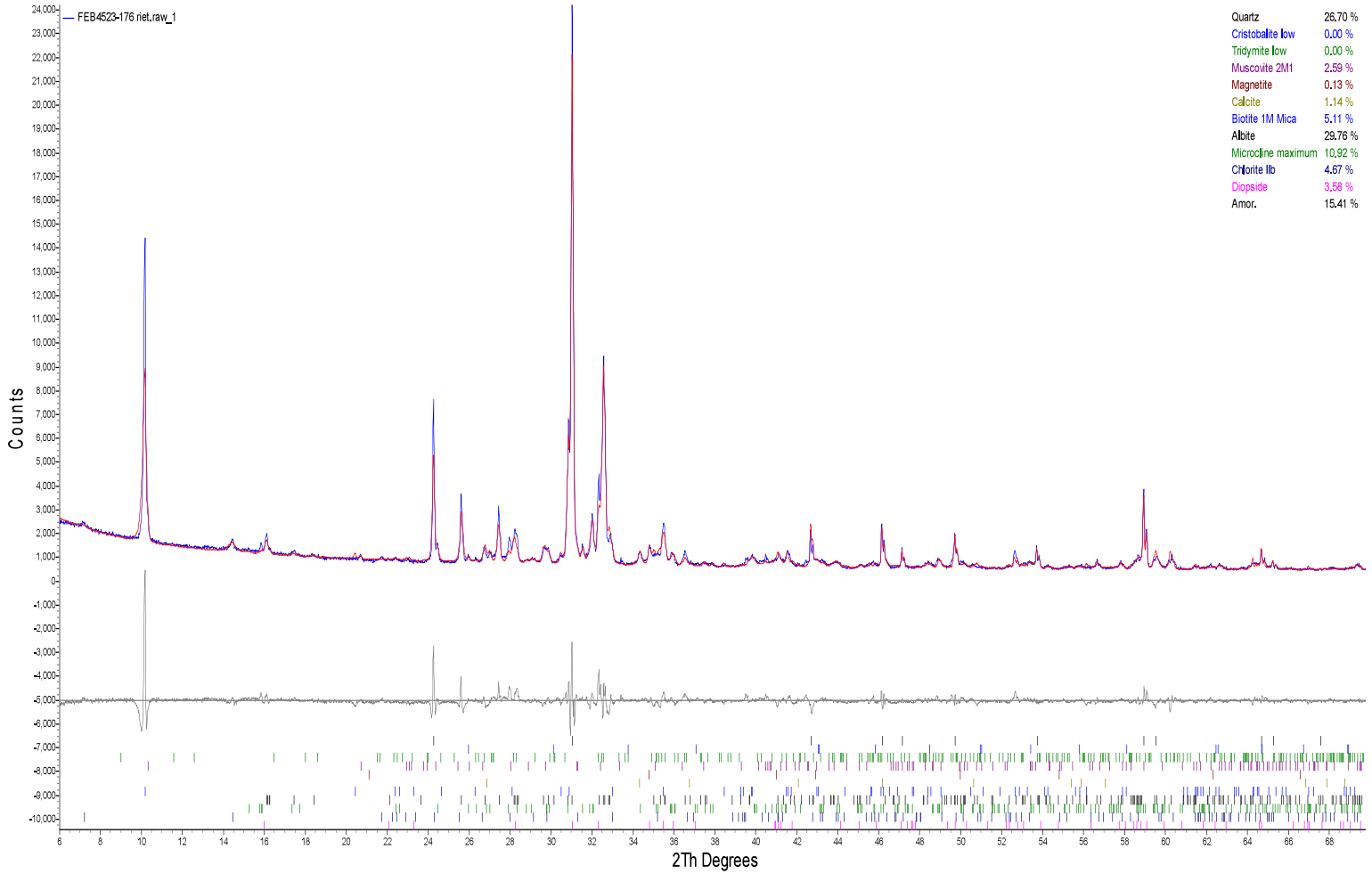
BL-12-70-GN-115-120



BL-12-71-AMP-85-90



BL-12-71-GN-110-115



Quantitative X-Ray Diffraction by Rietveld Refinement

Report Prepared for:	*Environmental Services*
Project Number/ LIMS No.	*Custom XRD/MI4523-FEB22*
Sample Receipt:	*February 17, 2022*
Sample Analysis:	*April 21, 2022*
Reporting Date:	*August 21, 2022*

Instrument:	BRUKER AXS D8 Advance Diffractometer
Test Conditions:	Co radiation, 35 kV, 40 mA Regular Scanning: Step: 0.02°, Step time: 1s, 2θ range: 6-70°
Interpretations :	PDF2/PDF4 powder diffraction databases issued by the International Center for Diffraction Data (ICDD). DiffracPlus Eva and Topas software.
Detection Limit :	0.5-2%. Strongly dependent on crystallinity.

Contents:

1) Method Summary
2) Quantitative XRD Results
3) XRD Pattern(s)

Zhihai (Adrian) Zhang, Ph.D.
Junior Mineralogist

Huyun Zhou, Ph.D., P.Geo.
Senior Mineralogist

ACCREDITATION: SGS Natural Resources Lakefield is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025 for specific tests as listed on our scope of accreditation, including geochemical, mineralogical and trade mineral tests. To view a list of the accredited methods, please visit the following website and search SGS Canada Inc. - Minerals: https://www.scc.ca/en/search/palcan.

Method Summary

The Rietveld Method of Mineral Identification by XRD (ME-LR-MIN-MET-MN-D05) method used by SGS Natural Resources is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025.

Mineral Identification and Interpretation:

Mineral identification and interpretation involves matching the diffraction pattern of an unknown material to patterns of single-phase reference materials. The reference patterns are compiled by the Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Center for Diffraction Data (JCPDS-ICDD) database and released on software as Powder Diffraction Files (PDF).

Interpretations do not reflect the presence of non-crystalline and/or amorphous compounds, except when internal standards have been added by request. Mineral proportions may be strongly influenced by crystallinity, crystal structure and preferred orientations. Mineral or compound identification and quantitative analysis results should be accompanied by supporting chemical assay data or other additional tests.

Quantitative Rietveld Analysis:

Quantitative Rietveld Analysis is performed by using Topas 4.2 (Bruker AXS), a graphics based profile analysis program built around a non-linear least squares fitting system, to determine the amount of different phases present in a multicomponent sample. Whole pattern analyses are predicated by the fact that the X-ray diffraction pattern is a total sum of both instrumental and specimen factors. Unlike other peak intensity-based methods, the Rietveld method uses a least squares approach to refine a theoretical line profile until it matches the obtained experimental patterns.

Rietveld refinement is completed with a set of minerals specifically identified for the sample. Zero values indicate that the mineral was included in the refinement calculations, but the calculated concentration was less than 0.05wt%. Minerals not identified by the analyst are not included in refinement calculations for specific samples and are indicated with a dash.

DISCLAIMER: This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

WARNING: The sample(s) to which the findings recorded herein (the "Findings") relate was(were) drawn and / or provided by the Client or by a third party acting at the Client's direction. The Findings constitute no warranty of the sample's representativeness of any goods and strictly relate to the sample(s). The Company accepts no liability with regard to the origin or source from which the sample(s) is/are said to be extracted.

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-76-AMP-15-20	BL-12-76-AMP-60-65	BL-12-77-GN-260-265	BL-12-90-AMP-15-20	BL-12-90-AMP-50-55	BL-12-90-QR-125-130	BL-12-91-GN-165-170	BL-12-91-GN-195-200
	FEB4523-177 (wt %)	FEB4523-178 (wt %)	FEB4523-179 (wt %)	FEB4523-180 (wt %)	FEB4523-181 (wt %)	FEB4523-182 (wt %)	FEB4523-183 (wt %)	FEB4523-184 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	3.4	3.4	24.7	3.0	5.5	97.8	22.9	32.2
Cristobalite	0.2	0.0	0.0	0.6	0.2	0.0	0.0	0.2
Tridymite	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	11.7	10.8	17.1	24.5	15.2	-	27.7	30.5
Potassium-feldspar	1.4	1.8	8.0	2.9	3.3	-	15.6	20.6
Amphibole	32.2	41.7	-	50.6	37.2	-	-	-
Pyroxene	2.4	3.9	2.1	4.0	3.8	-	2.0	2.9
Mica	3.5	5.4	7.4	4.2	4.5	1.1	7.2	9.6
Magnetite	0.5	0.1	0.2	0.0	0.0	-	0.0	0.0
Ilmenite	0.8	2.7	-	3.3	1.7	-	-	-
Hematite	-	-	-	-	-	0.9	-	-
Almandine	3.3	4.2	-	-	2.5	-	-	-
Calcite	-	1.9	0.2	0.0	-	-	0.1	0.1
Chlorite	-	3.6	-	-	6.6	-	-	-
Olivine	-	-	-	1.4	-	-	-	-
Kaolinite	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	40.5	20.5	40.3	5.5	19.4	0.2	24.4	3.8
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

1 - Zero values indicate that the mineral was included in the refinement, but the calculated concentration is below a measurable value. Dashes indicate that the mineral was not identifed by the analyst and not included in the refinement calculation for the sample.

2 - Si02 (alpha quartz) determination is made by semi-quantitative X-ray diffraction analysis using the standard addition procedure; for the sample containing high amounts of alpha quartz (>80%), the determination is made by Rietveld refinement method directly. Accuracy is +/- 10% relative to the reported value; the detection limit is 0.1%.

3 - SiO2 (cristobalite and tridymite), the determination is made by Rietveld quantitative X-ray diffraction analysis using the alpha quartz determined above as known value.

4 - The weight percent quantities indicated have been normalized to a sum of 100%.

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-91-GN-246-252	BL-12-93-QR-65-70	BL-12-95-QR-6-11	BL-12-95-AMP-45-50	BL-18-05-QRMS-13-15	BL-18-05-QRIF-16-21	BL-18-05-GN-45-50	BL-18-05-AMP-77-82
	FEB4523-185 (wt %)	FEB4523-186 (wt %)	FEB4523-187 (wt %)	FEB4523-188 (wt %)	FEB4523-189 (wt %)	FEB4523-190 (wt %)	FEB4523-191 (wt %)	FEB4523-192 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	32.8	95.0	96.0	4.8	38.1	87.0	31.1	4.1
Cristobalite	0.1	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.2
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	19.1	-	-	25.5	0.3	-	13.1	23.9
Potassium-feldspar	12.7	-	-	-	2.4	-	7.1	-
Amphibole	-	-	-	47.8	-	-	-	39.9
Pyroxene	3.6	-	-	4.2	2.4	-	3.6	3.5
Mica	9.7	3.4	0.4	5.9	42.3	0.7	18.1	3.8
Magnetite	0.0	-	2.5	0.5	0.5	2.2	0.8	0.0
Ilmenite	-	-	-	3.1	-	-	-	2.5
Hematite	-	1.1	0.2	-	-	9.5	-	-
Almandine	-	-	-	1.3	-	-	-	1.1
Calcite	0.1	-	-	-	0.1	-	0.6	-
Chlorite	-	-	0.4	3.8	-	0.2	-	2.8
Olivine	-	-	-	1.5	-	-	-	0.1
Kaolinite	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	22.0	0.6	0.5	1.2	13.9	0.3	25.6	18.1
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-20-30-GN-170-175 FEB4523-193 (wt %)	BL-20-31-GN-25-30 FEB4523-194 (wt %)	BL-20-31-AMP-83-88 FEB4523-195 (wt %)	BL-20-50-AMP-15-20 FEB4523-196 (wt %)	BL-20-50-GN-70-75 FEB4523-197 (wt %)	BLW-12-011-GN-50-55 FEB4523-198 (wt %)	BLW-12-011-GN-115-120 FEB4523-199 (wt %)	BLW-12-011-AMP-122-127 FEB4523-200 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	39.0	32.0	1.8	2.9	35.0	31.3	25.7	9.6
Cristobalite	0.0	0.0	0.4	0.8	0.2	0.0	0.0	0.6
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	11.3	1.0	10.8	22.2	29.1	23.6	19.5	18.4
Potassium-feldspar	21.3	6.1	-	-	13.4	6.4	10.1	4.6
Amphibole	-	-	29.8	42.3	-	-	-	29.2
Pyroxene	-	-	2.5	3.1	-	-	-	2.7
Mica	24.2	23.9	3.4	6.2	16.7	23.1	12.3	14.6
Magnetite	1.4	0.6	0.3	0.0	1.0	1.1	0.7	0.4
Ilmenite	-	-	1.7	1.9	-	-	-	0.8
Hematite	-	-	-	-	-	-	-	-
Almandine	-	-	1.2	2.8	-	-	-	1.5
Calcite	0.1	0.3	-	-	3.0	0.6	0.5	-
Chlorite	-	-	3.0	3.5	-	-	-	6.0
Olivine	-	-	0.7	0.3	-	-	-	0.8
Kaolinite	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	2.8	36.2	44.6	14.1	1.5	13.8	31.1	10.9
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BP-18-02-AMP-115-120	BP-18-02-AMP-165-170	BP-18-08-QR-110-115	BP-18-08-GN-125-130	BP-18-09-AMP-10-15	BP-18-09-GN-67-72	BP-18-12-QR-25-30	BP-18-13-QR-40-45
	FEB4523-201	FEB4523-202	FEB4523-203	FEB4523-204	FEB4523-205	FEB4523-206	FEB4523-207	FEB4523-208
	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	3.2	5.9	97.0	20.6	3.0	21.3	88.6	94.0
Cristobalite	0.3	0.5	0.3	0.0	0.3	2.1	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	10.6	12.9	-	31.4	14.3	31.0	-	-
Potassium-feldspar	3.4	3.1	-	14.6	2.0	10.5	-	-
Amphibole	55.0	46.7	-	1.4	27.4	5.3	2.5	2.5
Pyroxene	3.0	3.2	-	4.3	1.8	2.5	-	-
Mica	8.6	6.7	1.2	7.5	3.8	7.7	2.1	0.0
Magnetite	0.1	0.3	-	0.6	0.8	0.7	-	-
Ilmenite	1.7	2.0	-	-	1.3	-	-	-
Hematite	-	-	0.8	-	-	-	0.0	0.0
Almandine	4.4	6.8	-	-	1.2	-	3.2	-
Calcite	1.3	0.0	-	0.3	0.2	0.2	-	2.7
Chlorite	-	-	-	2.2	1.9	-	-	0.1
Olivine	2.3	0.2	-	-	0.8	-	-	-
Kaolinite	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	6.2	11.7	0.7	17.2	41.2	18.8	3.6	0.7
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BP-18-13-GN-59-64	BP-18-14-QR-35-40	BP-18-20-QR-80-85	BP-18-20-GN-96-101	98DN-061-QR-35-40	98DN-061-QRIF-48-53	98DN-061-AMP-130-135	BL-12-101-QR-40-45
	FEB4523-209	FEB4523-210	FEB4523-211	FEB4523-212	FEB4523-222	FEB4523-213	FEB4523-214	FEB4523-215
	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	(wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	32.7	96.0	97.5	36.6	99.9	92.5	13.0	98.0
Cristobalite	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0
Tridymite	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	2.5	-	-	23.4	-	-	22.4	-
Potassium-feldspar	16.4	-	-	6.5	-	-	2.3	-
Amphibole	1.4	-	-	1.1	-	-	36.2	-
Pyroxene	1.6	-	-	2.4	-	-	3.6	-
Mica	28.9	2.7	0.0	16.4	0.0	0.0	6.1	1.6
Magnetite	0.2	-	-	0.4	-	-	0.8	-
Ilmenite	-	-	-	-	-	-	3.6	-
Hematite	-	0.5	-	-	-	7.0	-	-
Almandine	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	0.7	0.2	0.0	0.7	-	-	0.2	-
Chlorite	-	0.4	-	-	-	-	4.4	0.1
Olivine	-	-	-	-	-	-	3.7	-
Kaolinite	-	-	1.9	-	-	-	-	-
Amorphous Content	15.5	0.1	0.2	12.6	0.0	0.5	3.5	0.2
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

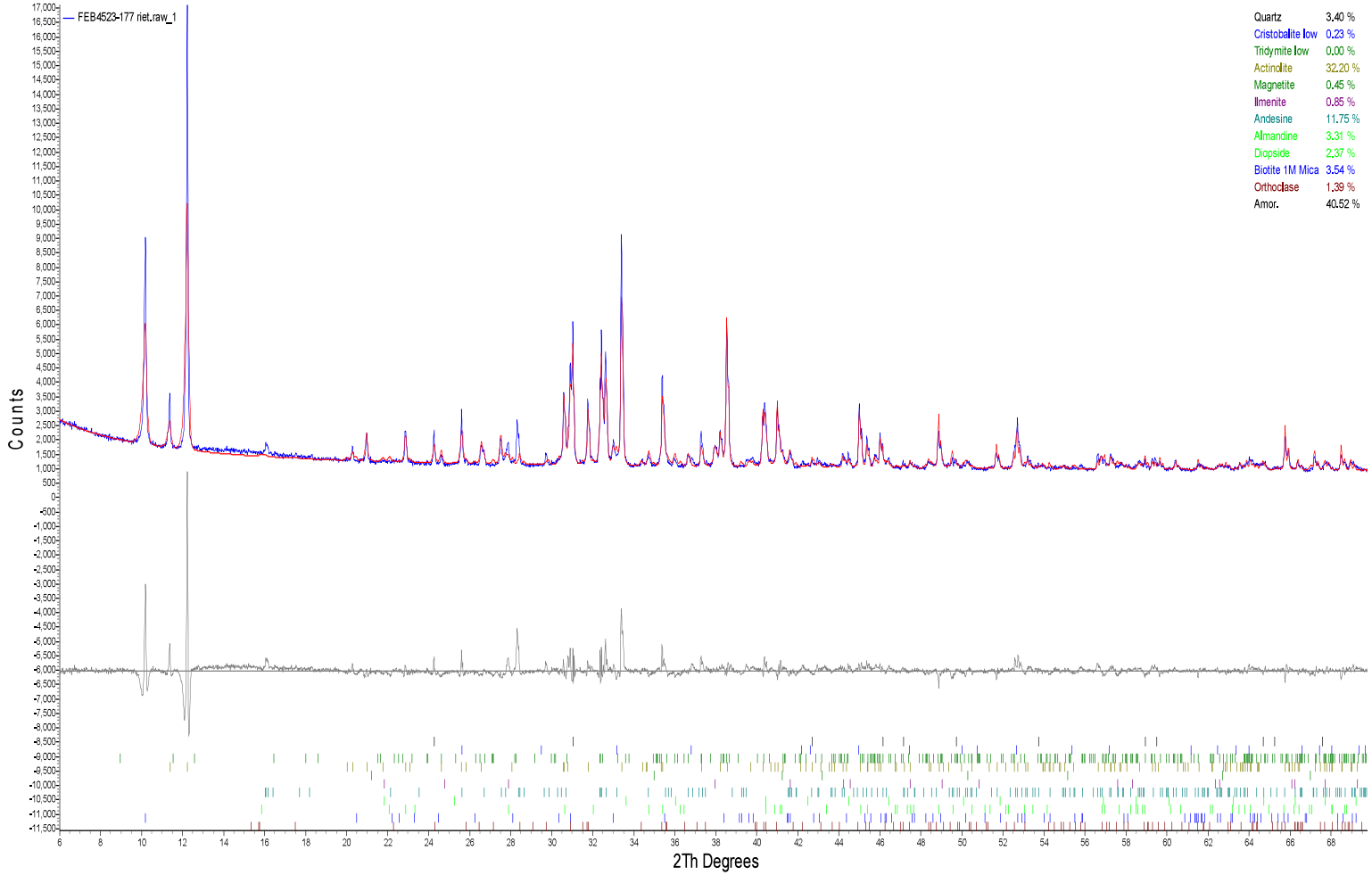
Summary of Rietveld Quantitative Analysis X-Ray Diffraction Results

Mineral/Compound	BL-12-101-AMP-70-75	BL-12-55-GN-10-15	BL-12-55-AMP-56-61	BL-12-55-GN-61-66	BL-12-68-QR-50-55	BL-12-68-GN-120-125	BP-18-23-QR-85-90	BP-18-23-GN-100-105
	FEB4523-216 (wt %)	FEB4523-217 (wt %)	FEB4523-218 (wt %)	FEB4523-219 (wt %)	FEB4523-220 (wt %)	FEB4523-221 (wt %)	FEB4523-223 (wt %)	FEB4523-224 (wt %)
Crystal Silicates								
Alpha Quartz	2.1	26.1	4.4	28.1	98.0	26.5	99.9	26.4
Cristobalite	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Other Minerals								
Plagioclase	17.9	31.6	12.4	8.6	-	10.2	-	25.8
Potassium-feldspar	3.9	13.1	2.3	10.9	-	13.4	-	2.0
Amphibole	31.8	-	21.5	-	-	-	-	-
Pyroxene	1.6	4.5	2.7	4.7	-	3.9	-	4.5
Mica	3.6	22.9	7.7	26.0	1.5	18.6	-	8.3
Magnetite	0.5	0.4	0.1	0.0	-	0.0	-	1.0
Ilmenite	1.3	-	0.4	-	-	-	-	-
Hematite	-	-	-	-	-	-	-	-
Almandine	3.2	-	0.0	-	-	-	-	-
Calcite	0.4	0.7	0.1	0.7	-	0.2	-	0.6
Chlorite	2.7	-	4.1	-	-	5.1	-	3.1
Olivine	1.2	-	0.4	-	-	-	-	-
Kaolinite	-	-	-	-	-	-	-	-
Amorphous Content	28.9	0.7	43.8	21.1	0.4	22.0	0.1	28.4
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

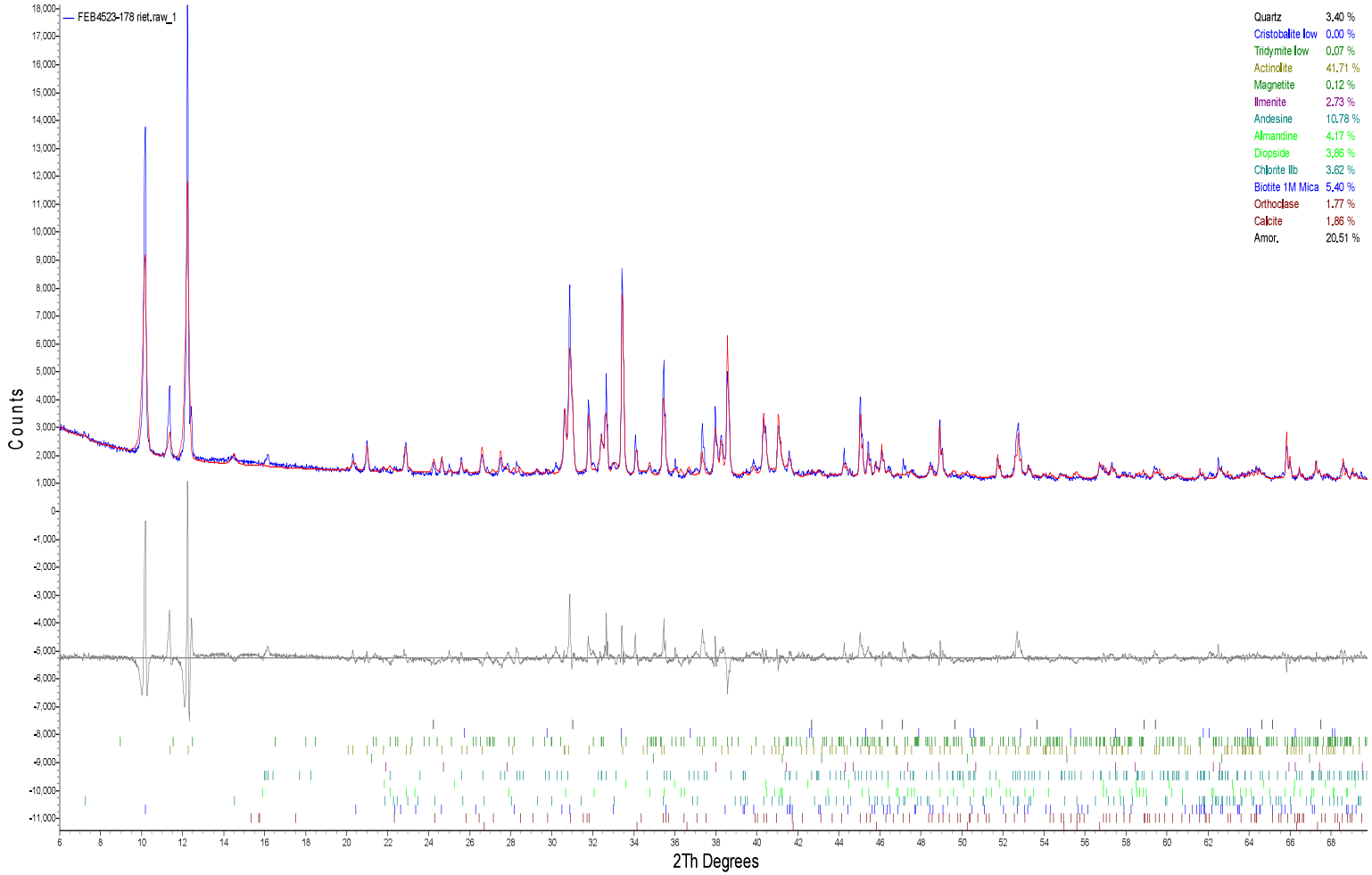
Mineral Formula

Mineral/Compound	Formula
Quartz	SiO_2
Cristobalite	SiO_2
Tridymite	SiO_2
Plagioclase	$(NaSi,CaAl)AlSi_2O_8$
Potassium-feldspar	$KAlSi_3O_8$
Amphibole	$(Na,K)Ca_2(Fe,Mg)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$
Pyroxene	$(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$
Mica	$K(Mg,Fe)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$
Magnetite	Fe_3O_4
Ilmenite	$FeTiO_3$
Hematite	Fe_2O_3
Almandine	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$
Calcite	$CaCO_3$
Chlorite	$(Fe,(Mg,Mn)_5,Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$
Olivine	$(Mg,Fe)_2SiO_4$
Kaolinite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$

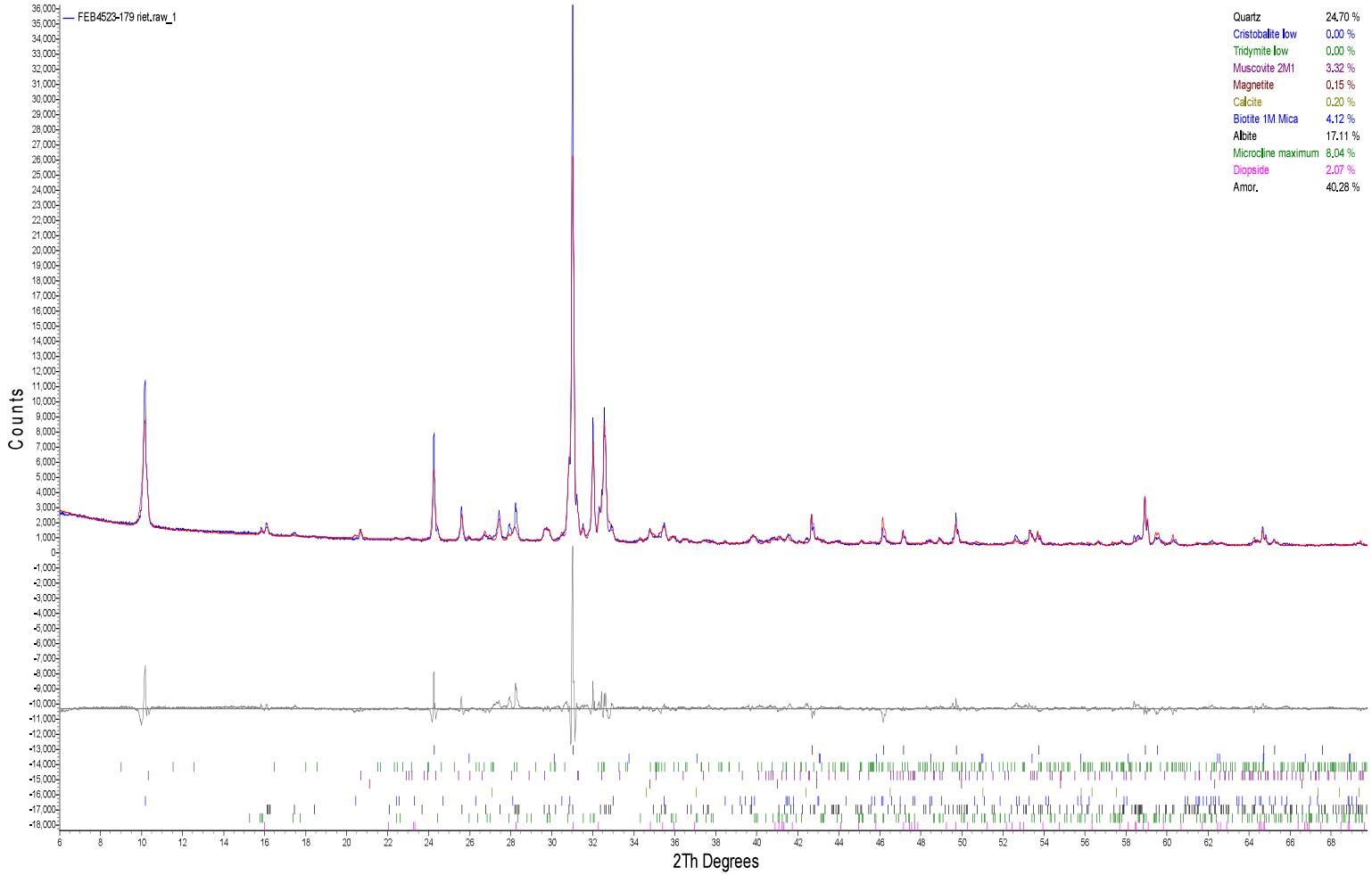
BL-12-76-AMP-15-20



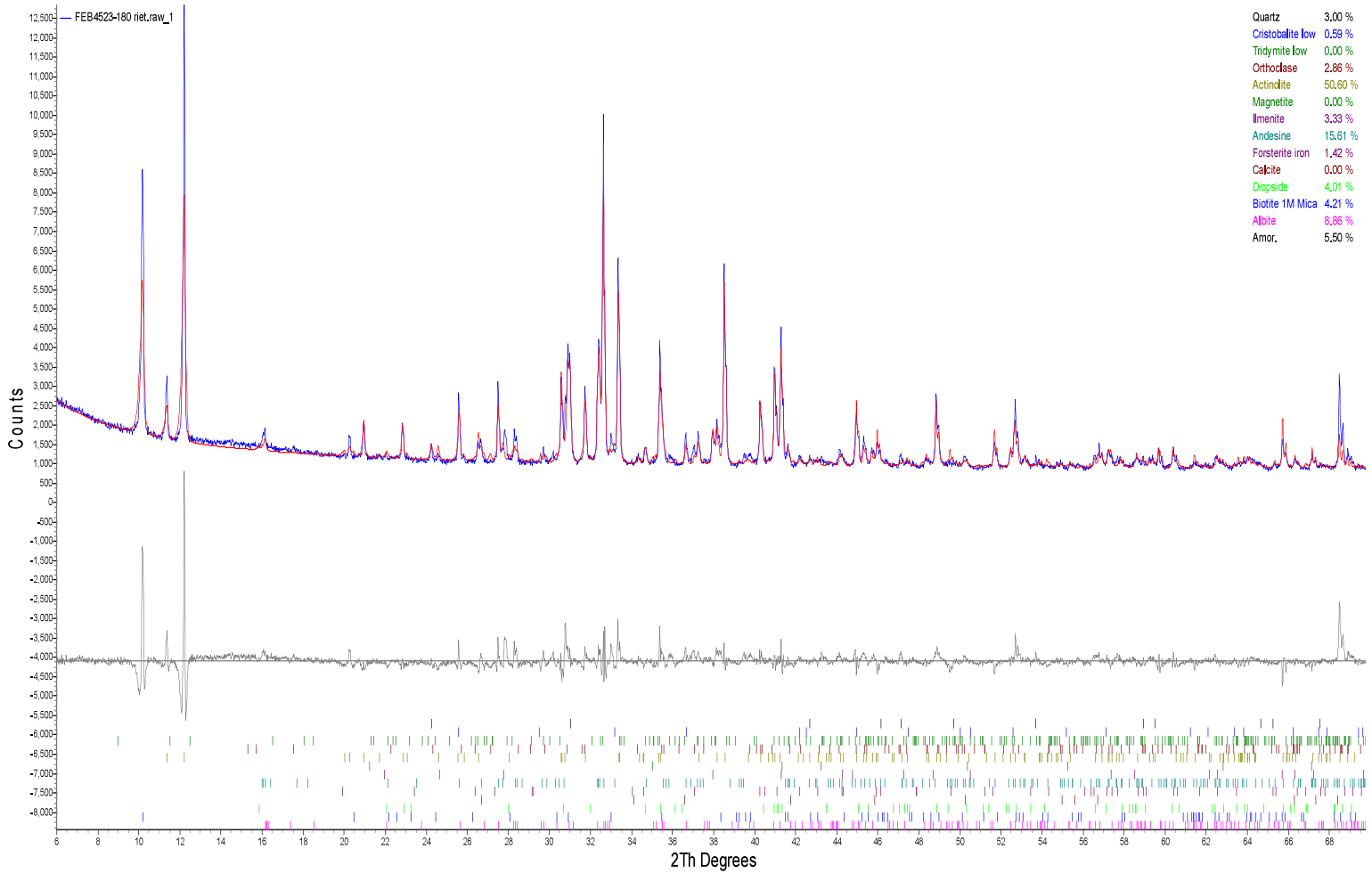
BL-12-76-AMP-60-65



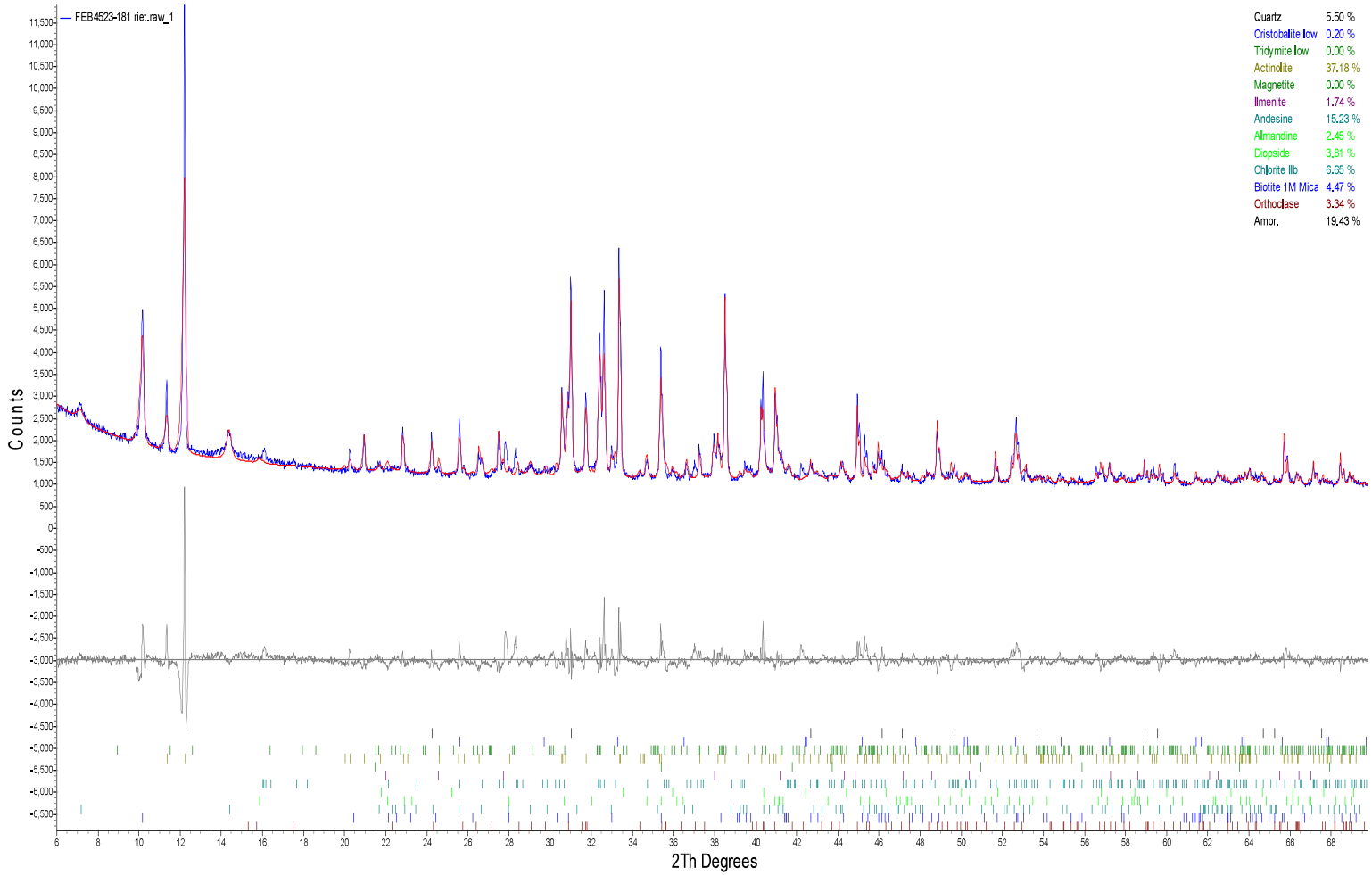
BL-12-77-GN-260-265

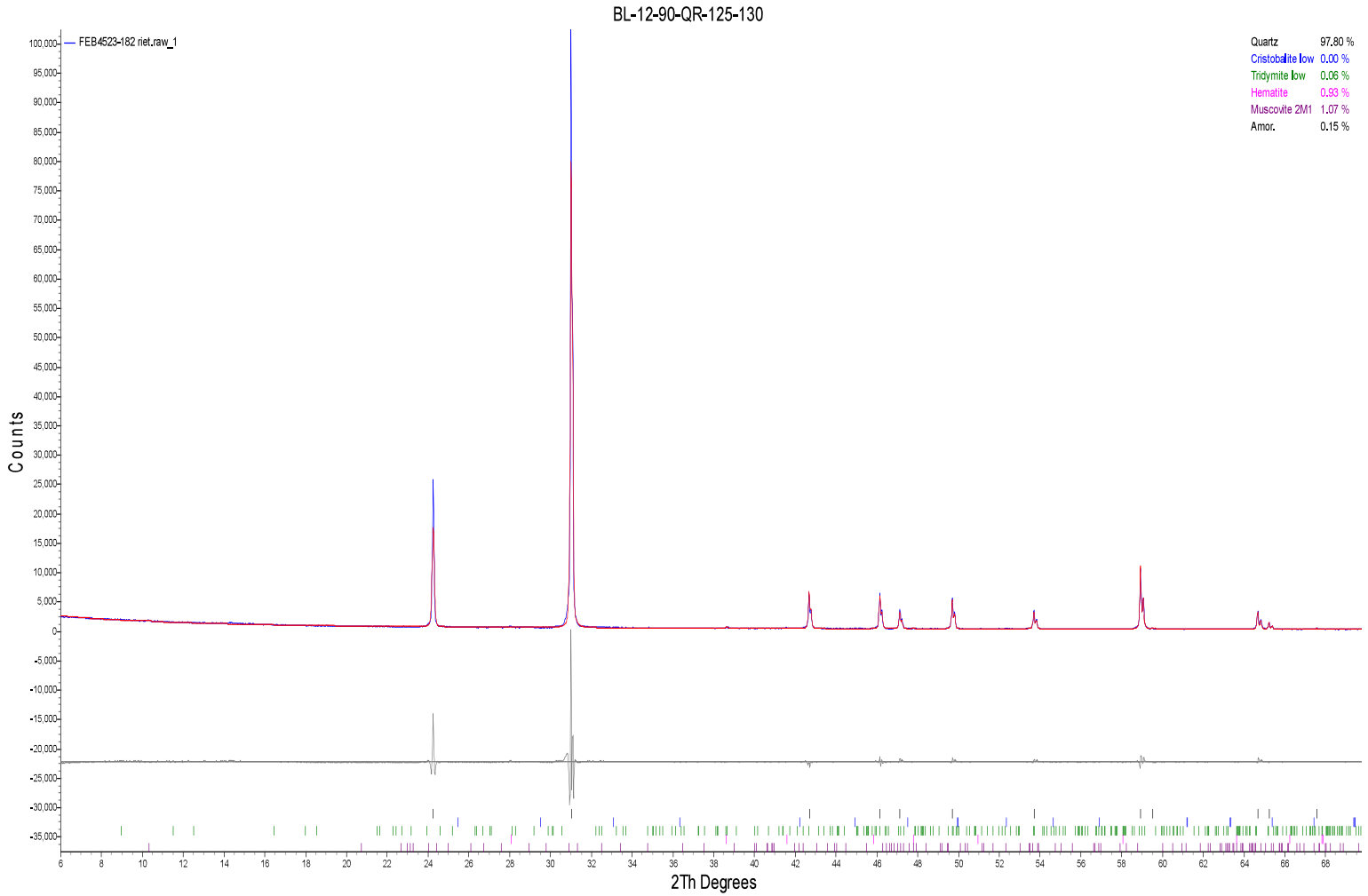


BL-12-90-AMP-15-20

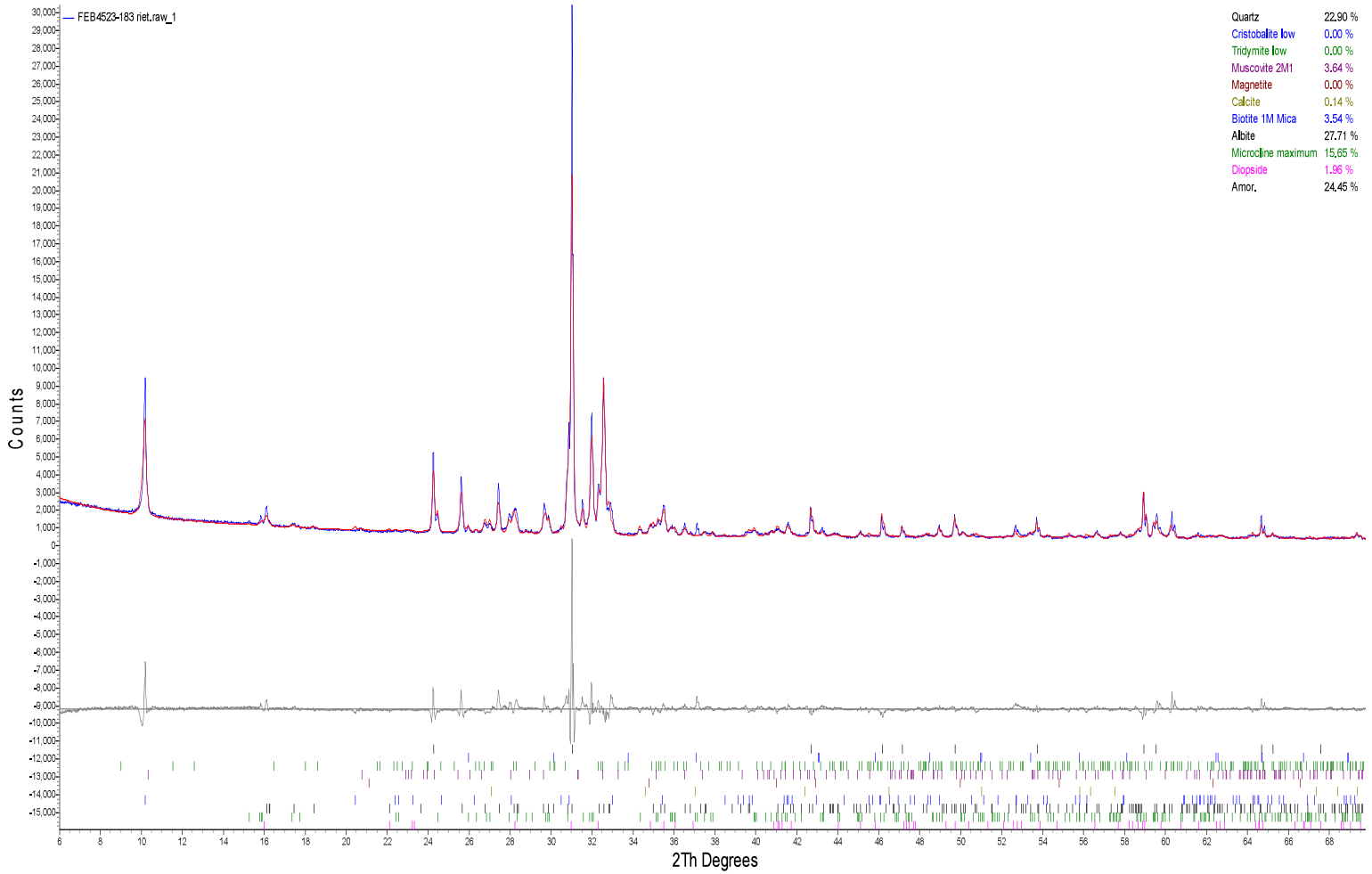


BL-12-90-AMP-50-55

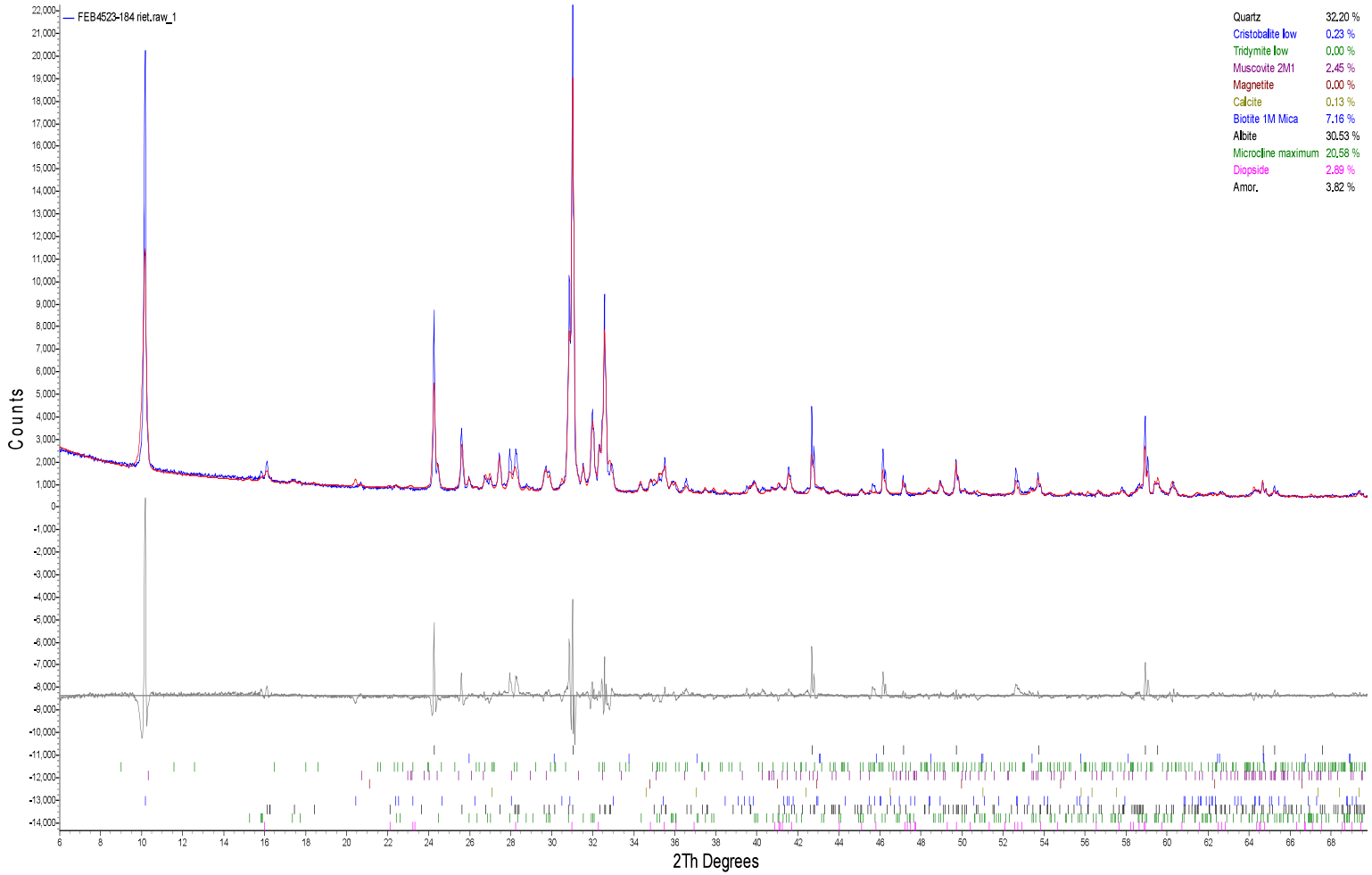



BL-12-90-QR-125-130
FEB4523-182 riet.raw_1
Quartz 97.80 %
Cristobalite low 0.00 %
Tridymite low 0.06 %
Hematite 0.93 %
Muscovite 2M1 1.07 %
Amor. 0.15 %
Counts
2Th Degrees

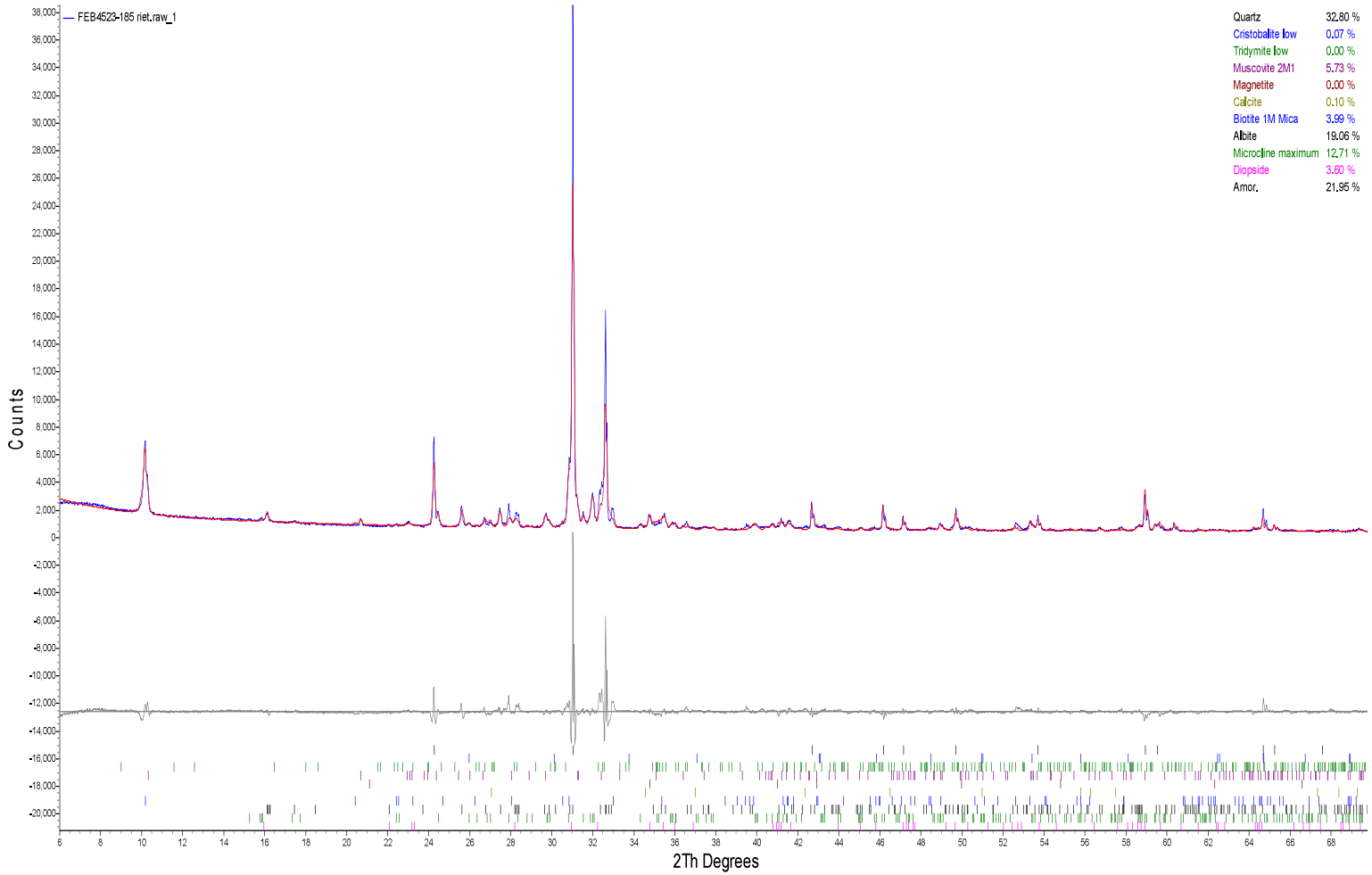
BL-12-91-GN-165-170



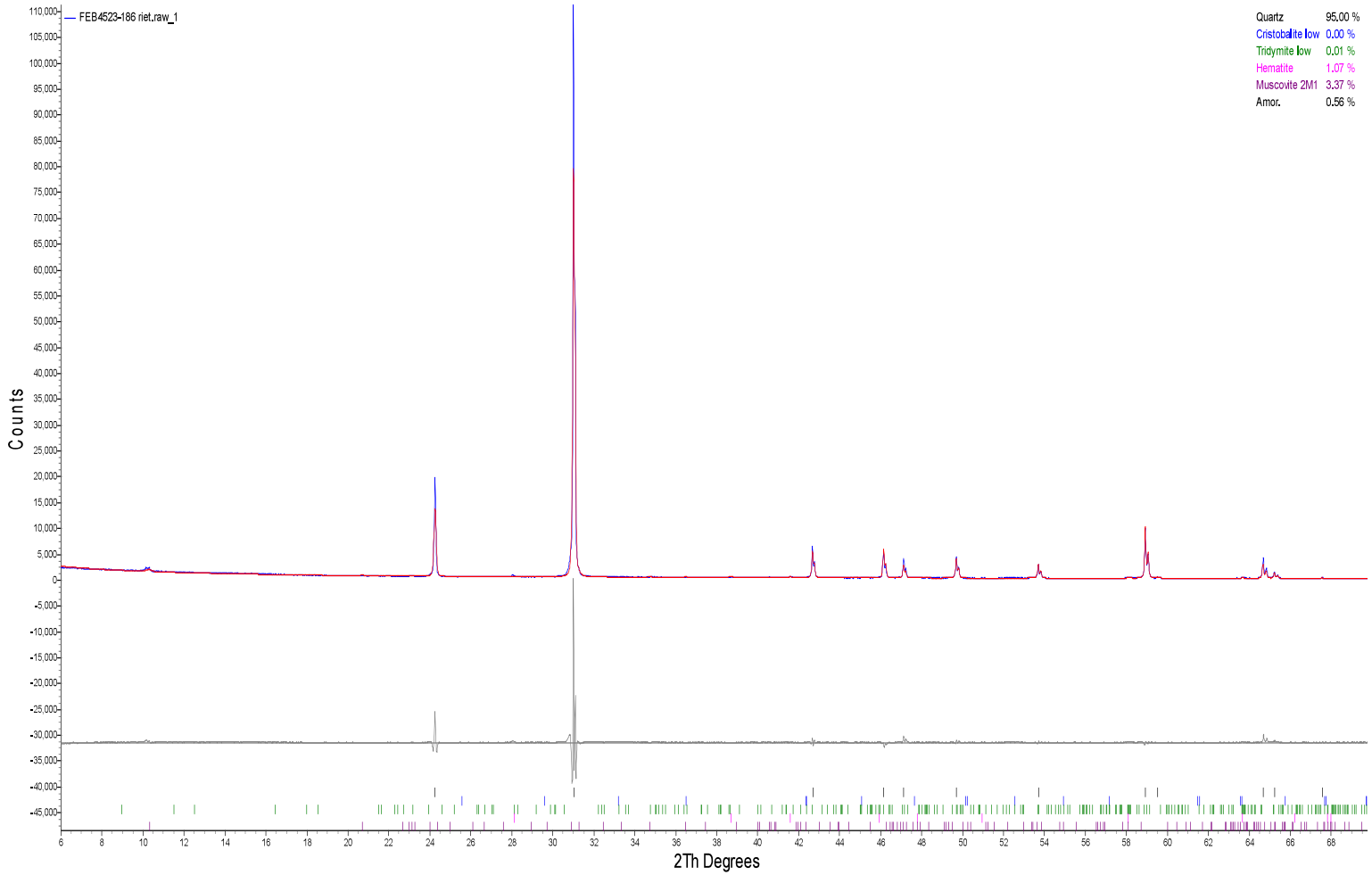
BL-12-91-GN-195-200



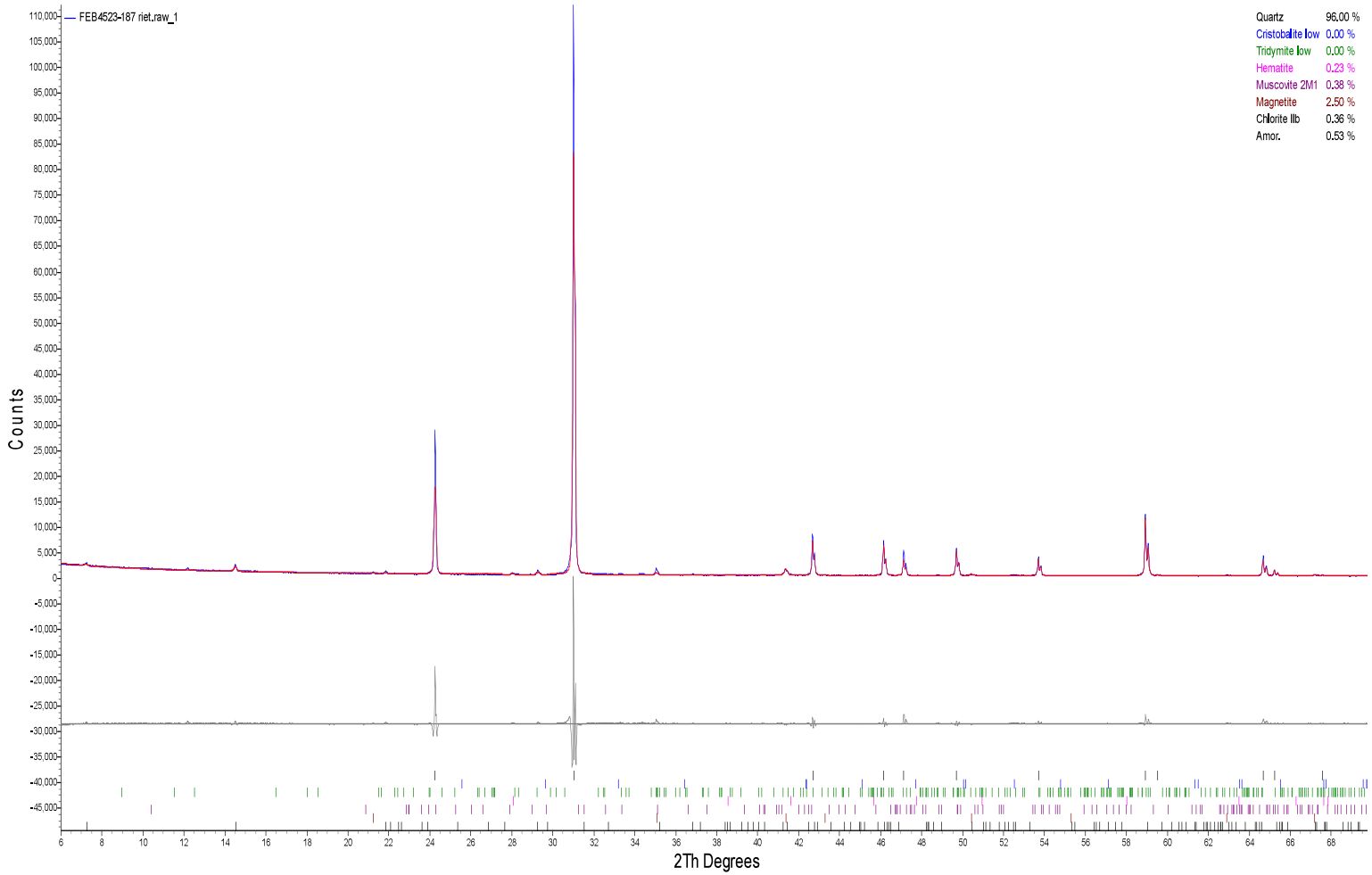
BL-12-91-GN-246-252



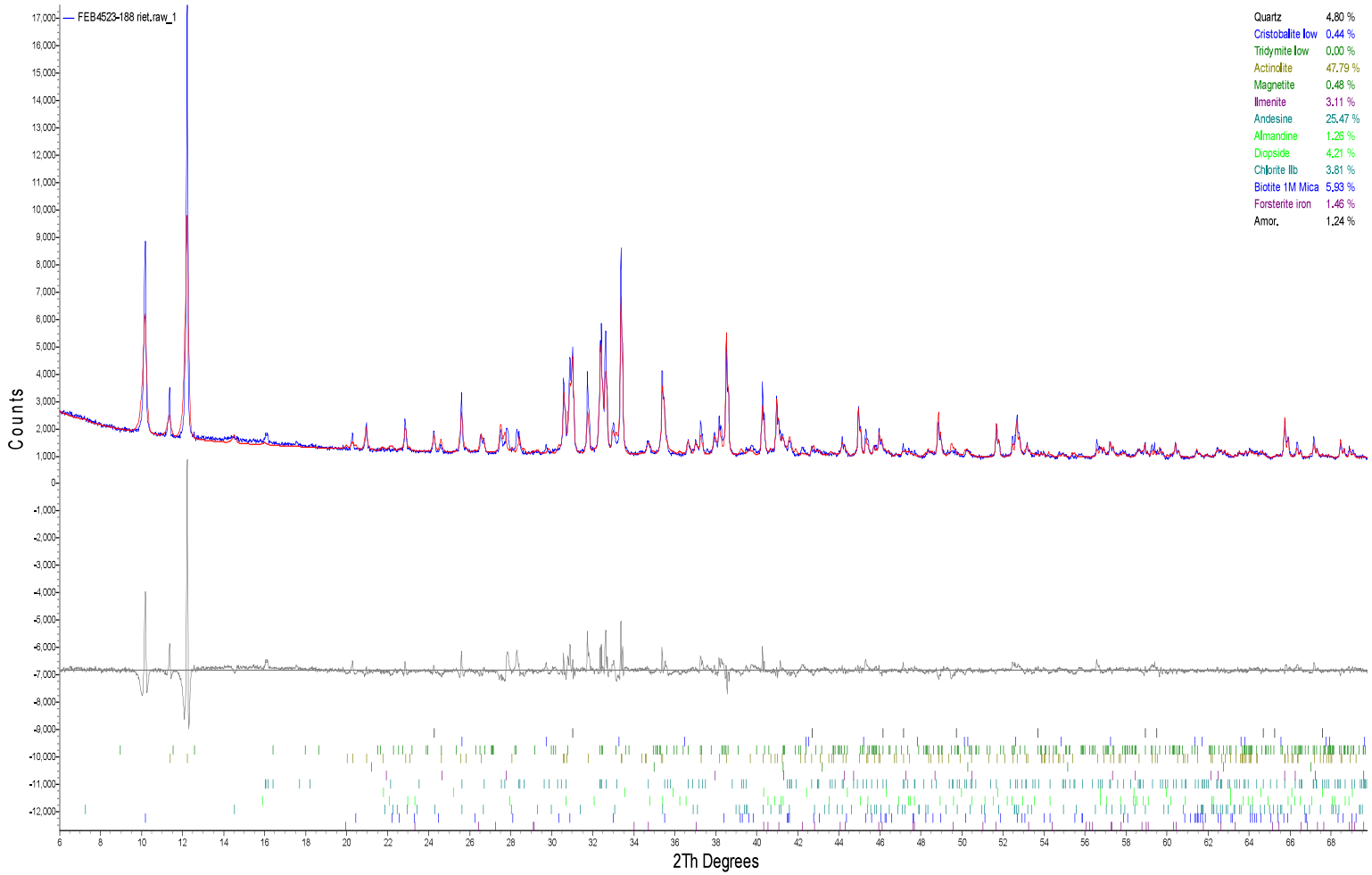
BL-12-93-QR-65-70



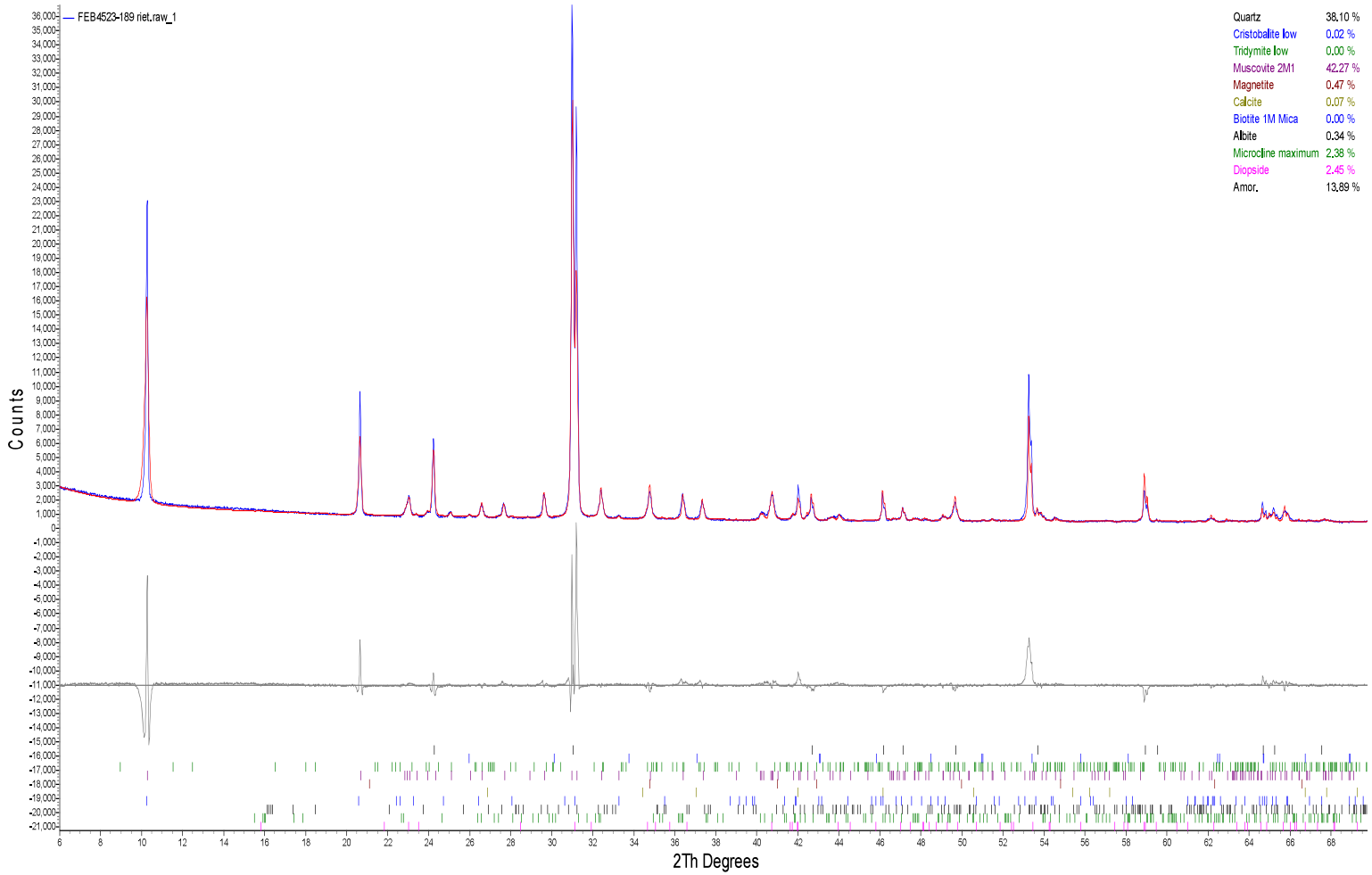
BL-12-95-QR-6-11



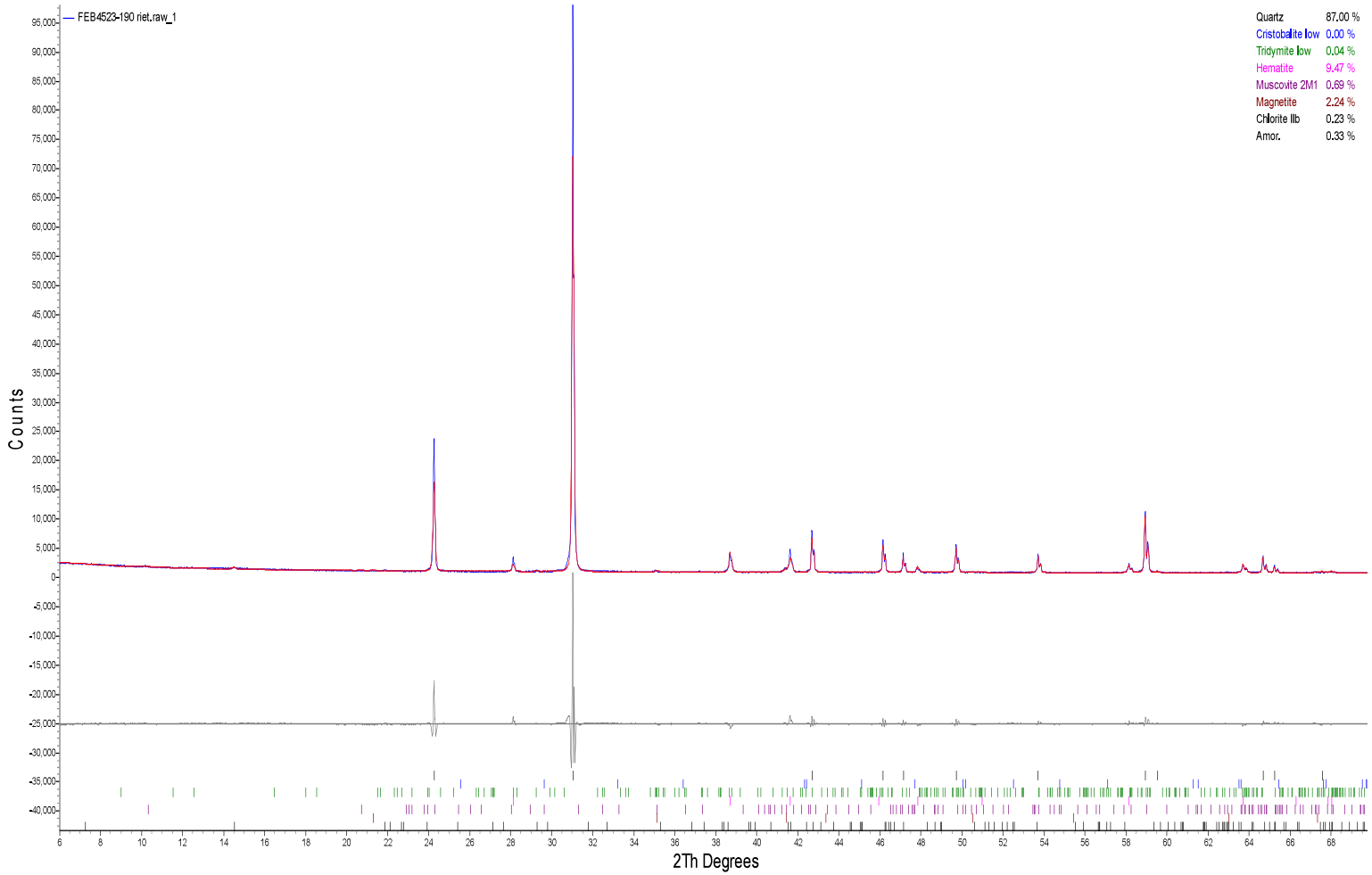
BL-12-95-AMP-45-50



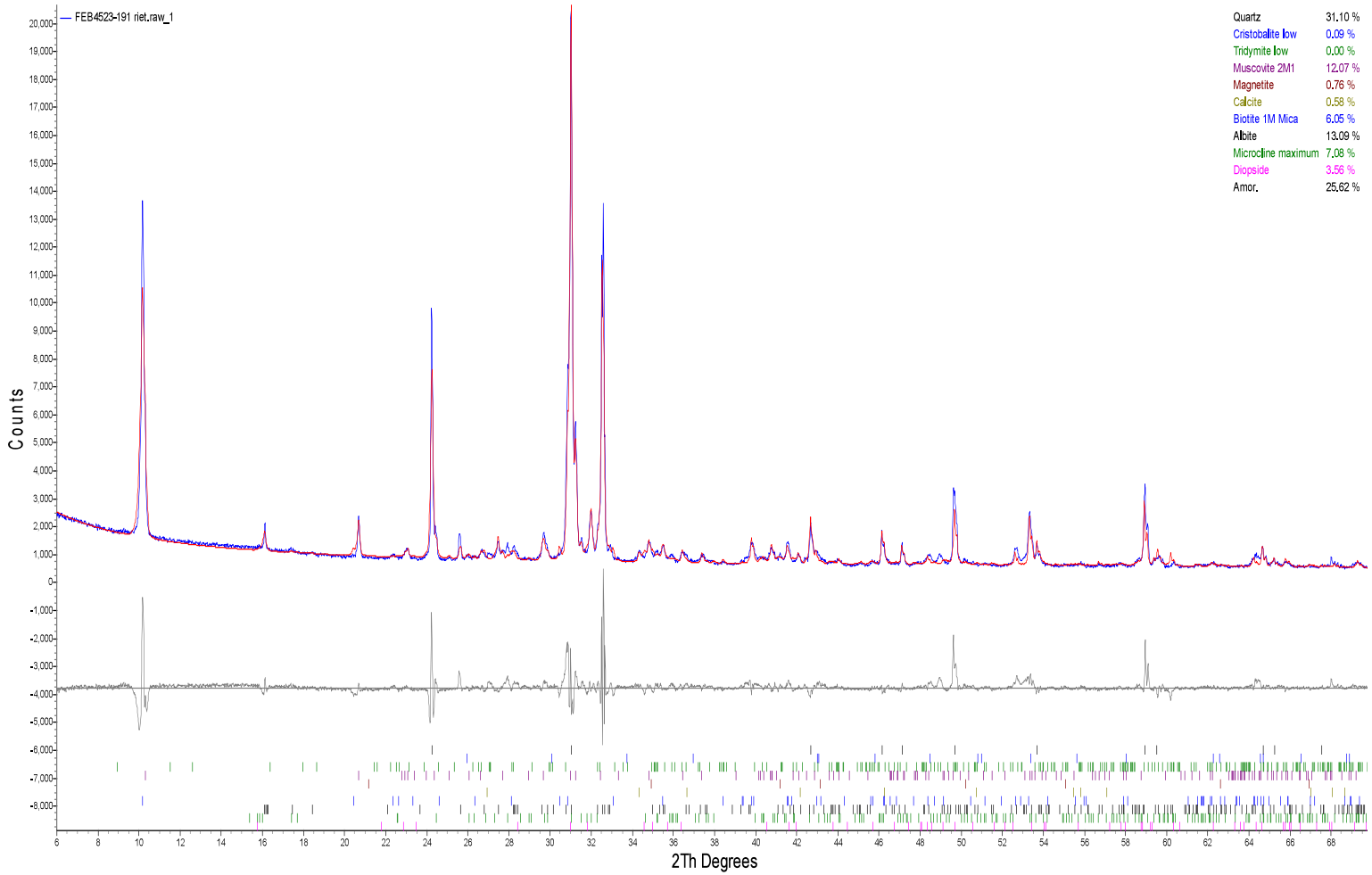
BL-18-05-QRMS-13-15



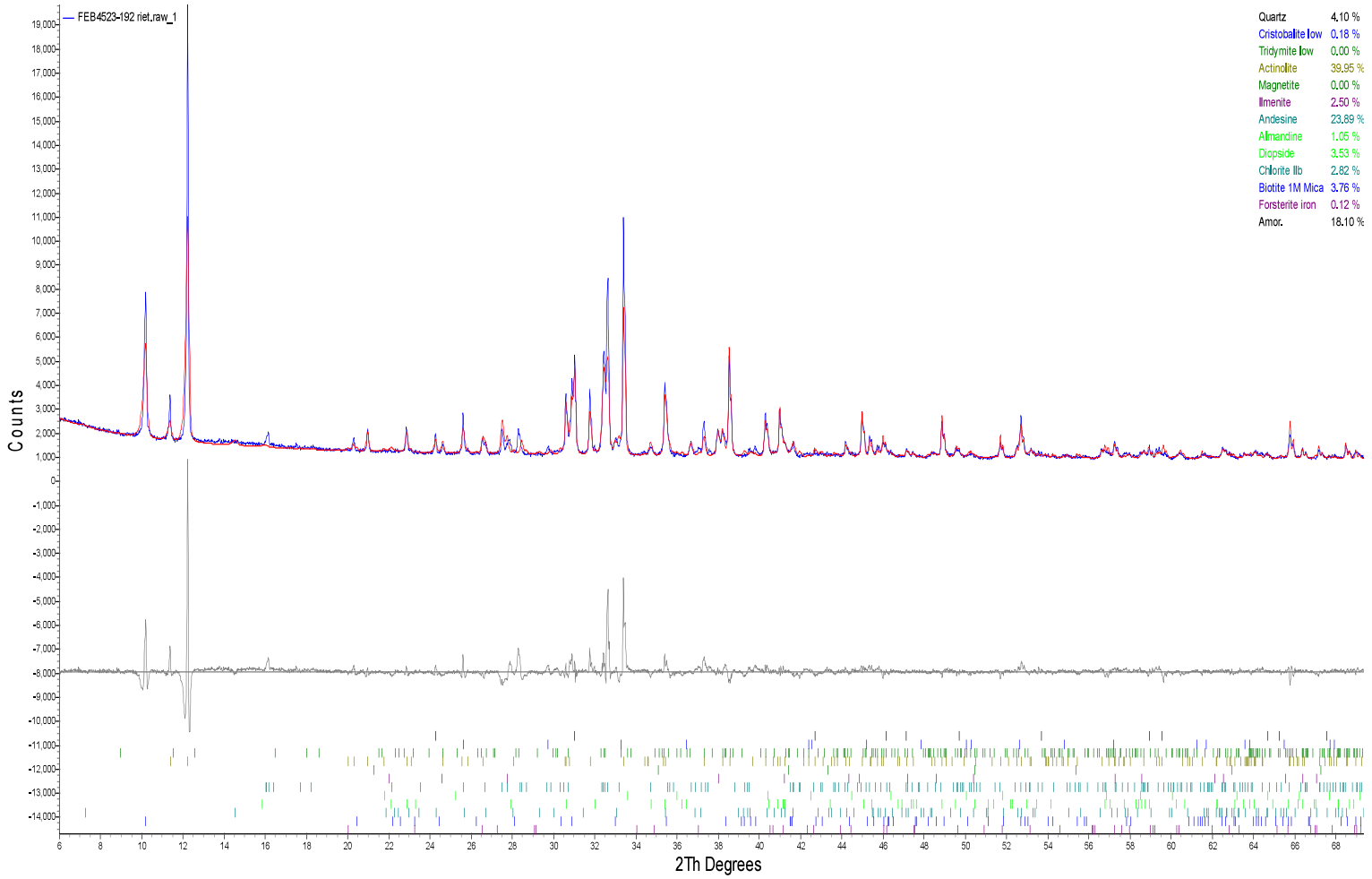
BL-18-05-QRIF-16-21



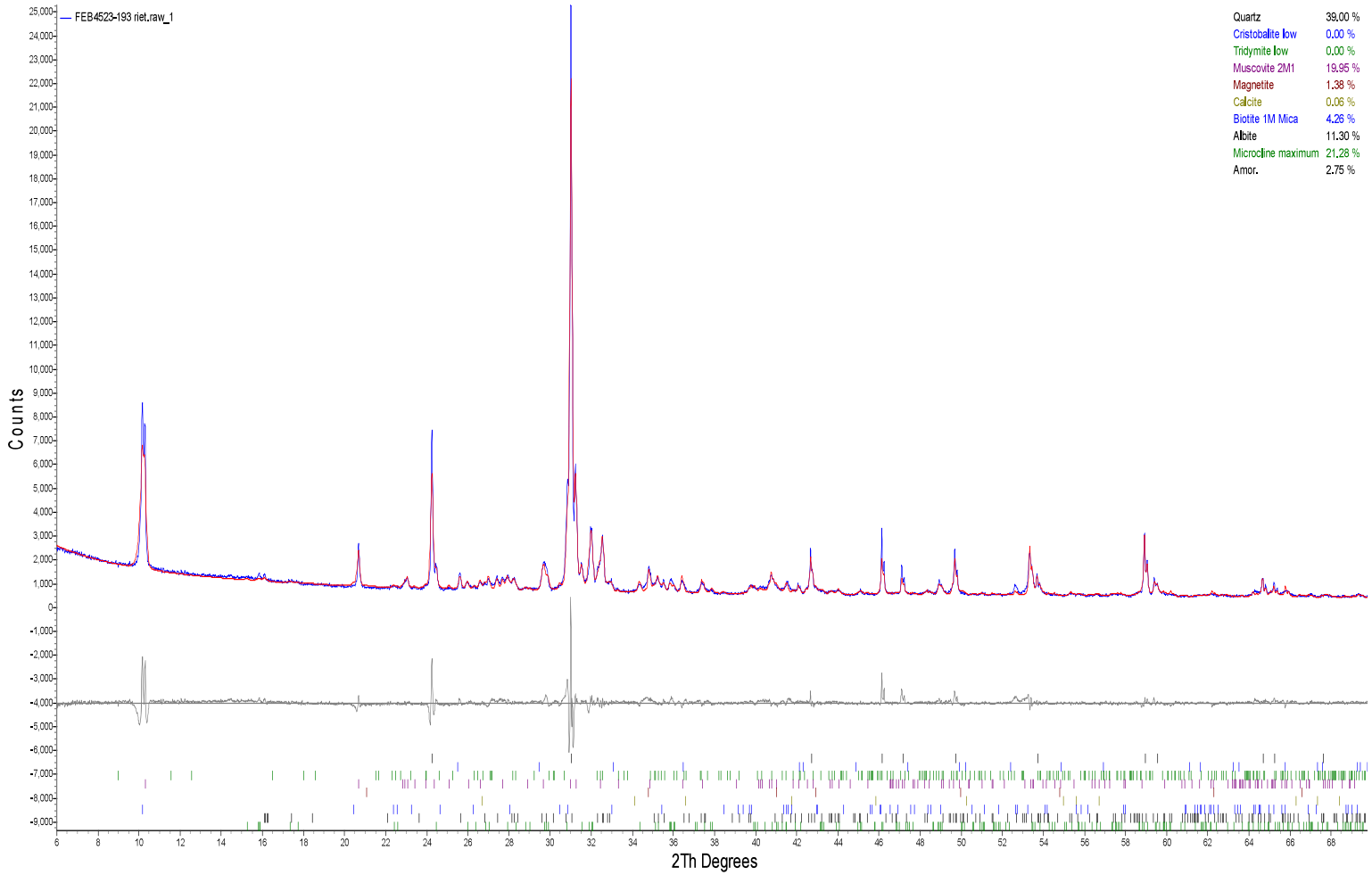
BL-18-05-GN-45-50



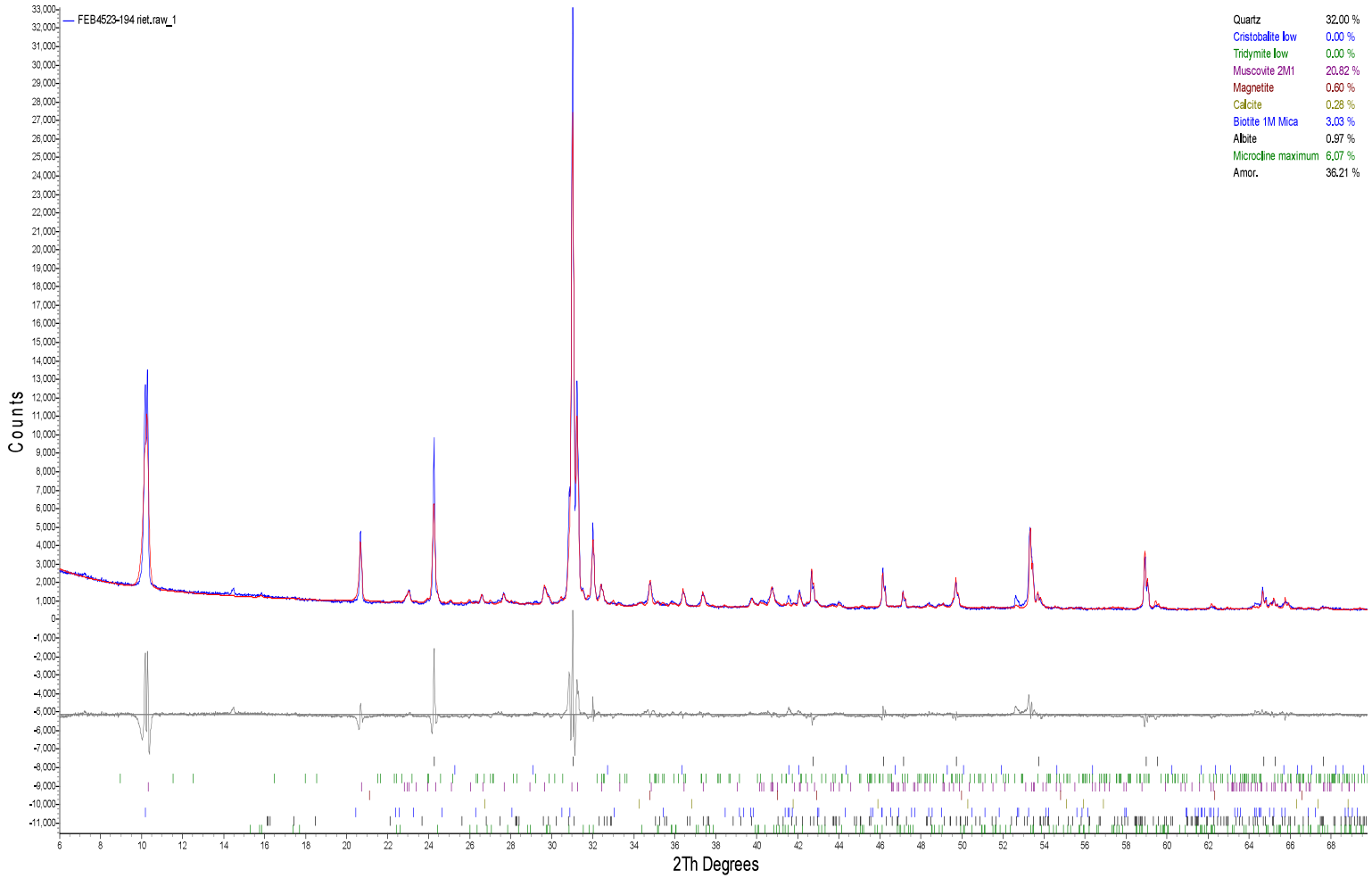
BL-18-05-AMP-77-82



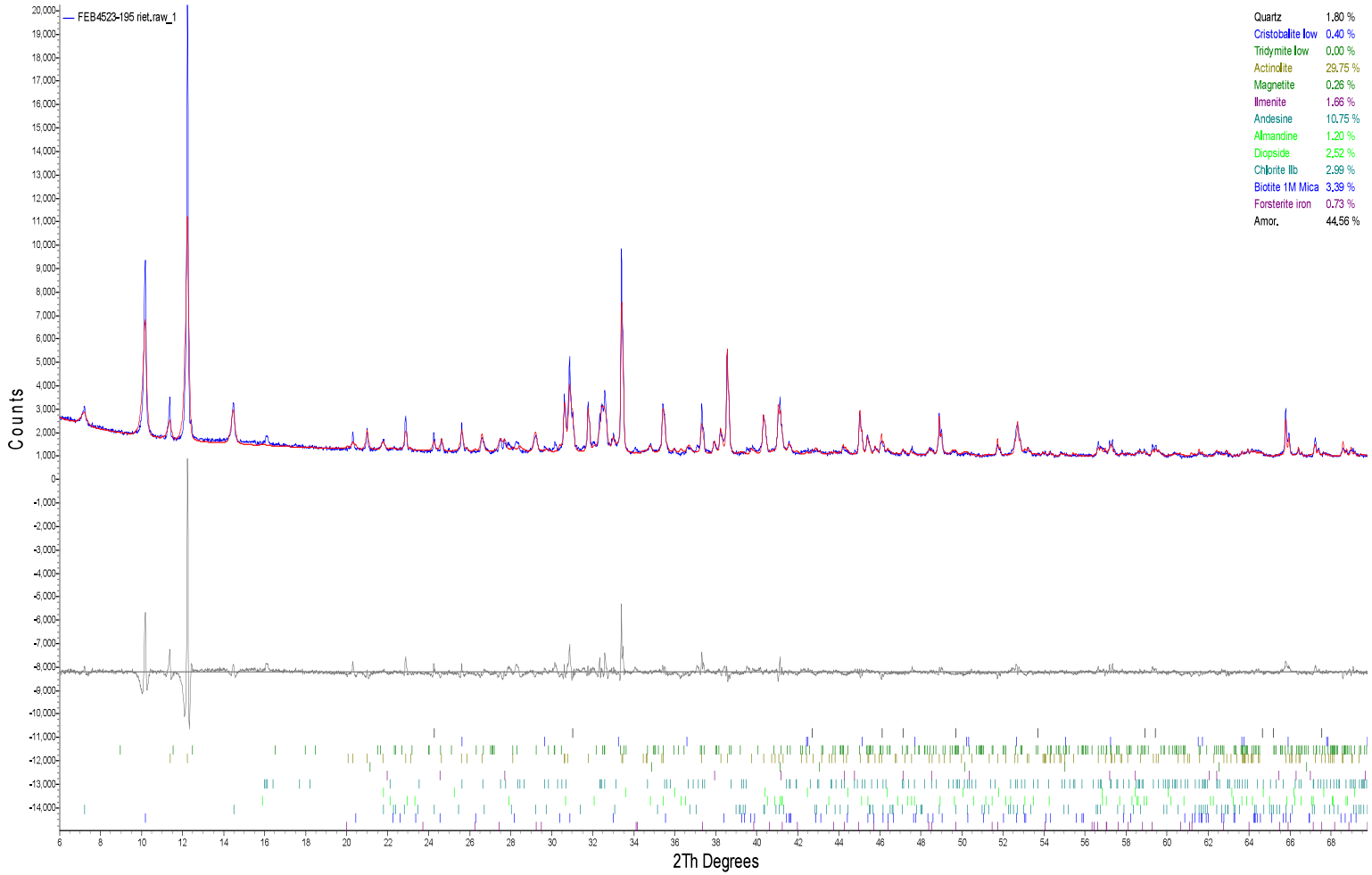
BL-20-30-GN-170-175



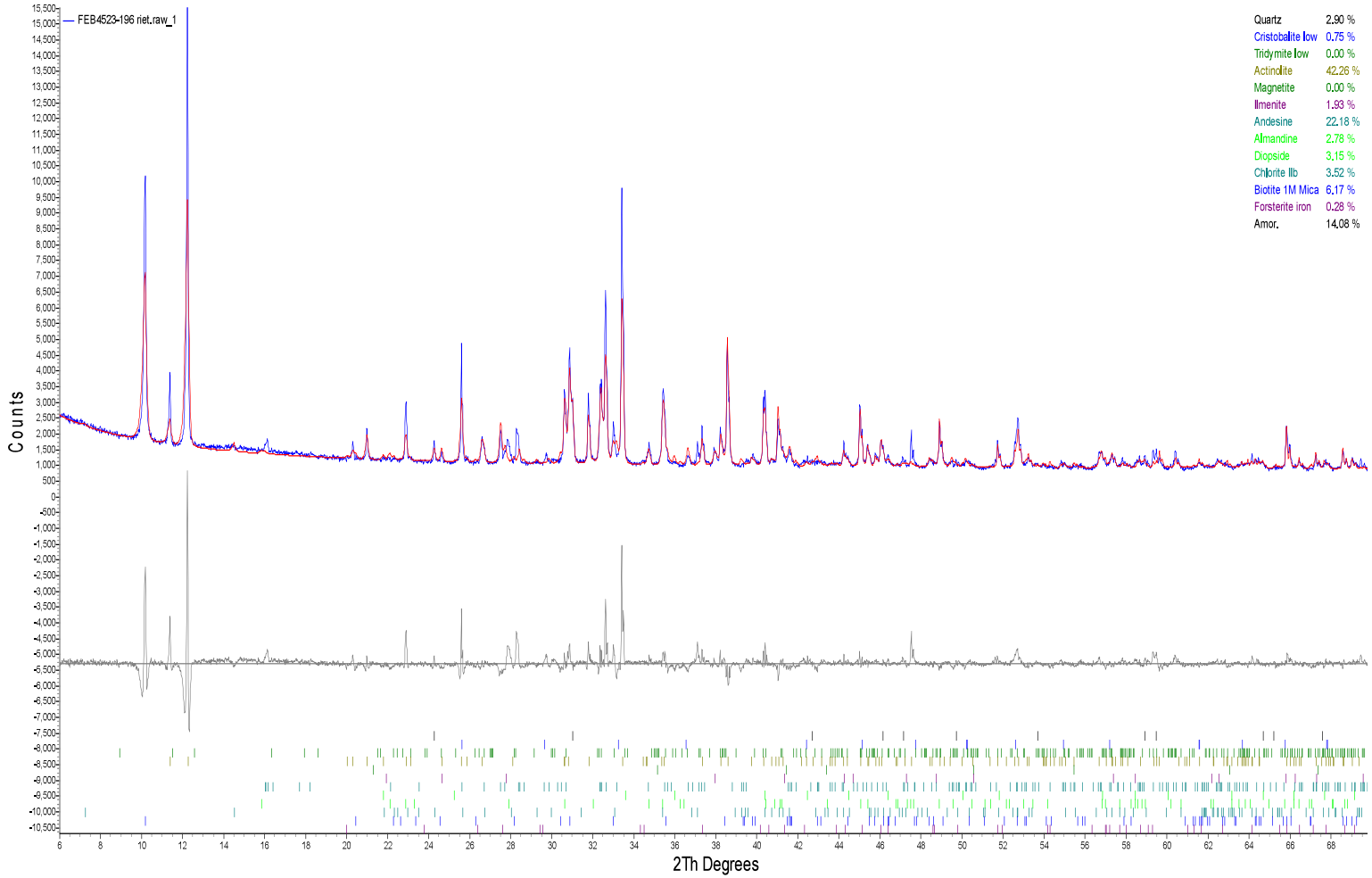
BL-20-31-GN-25-30



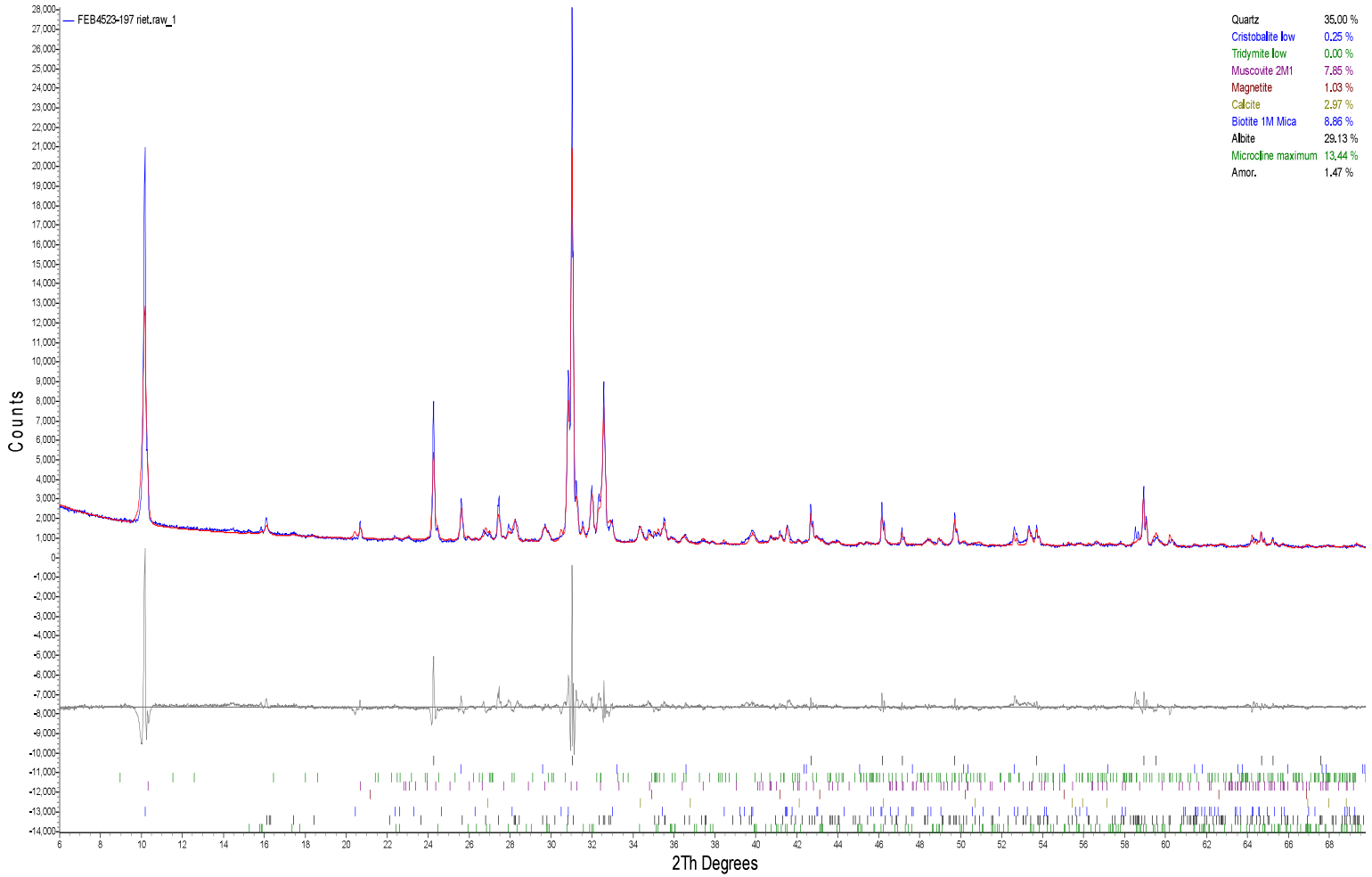
BL-20-31-AMP-83-88



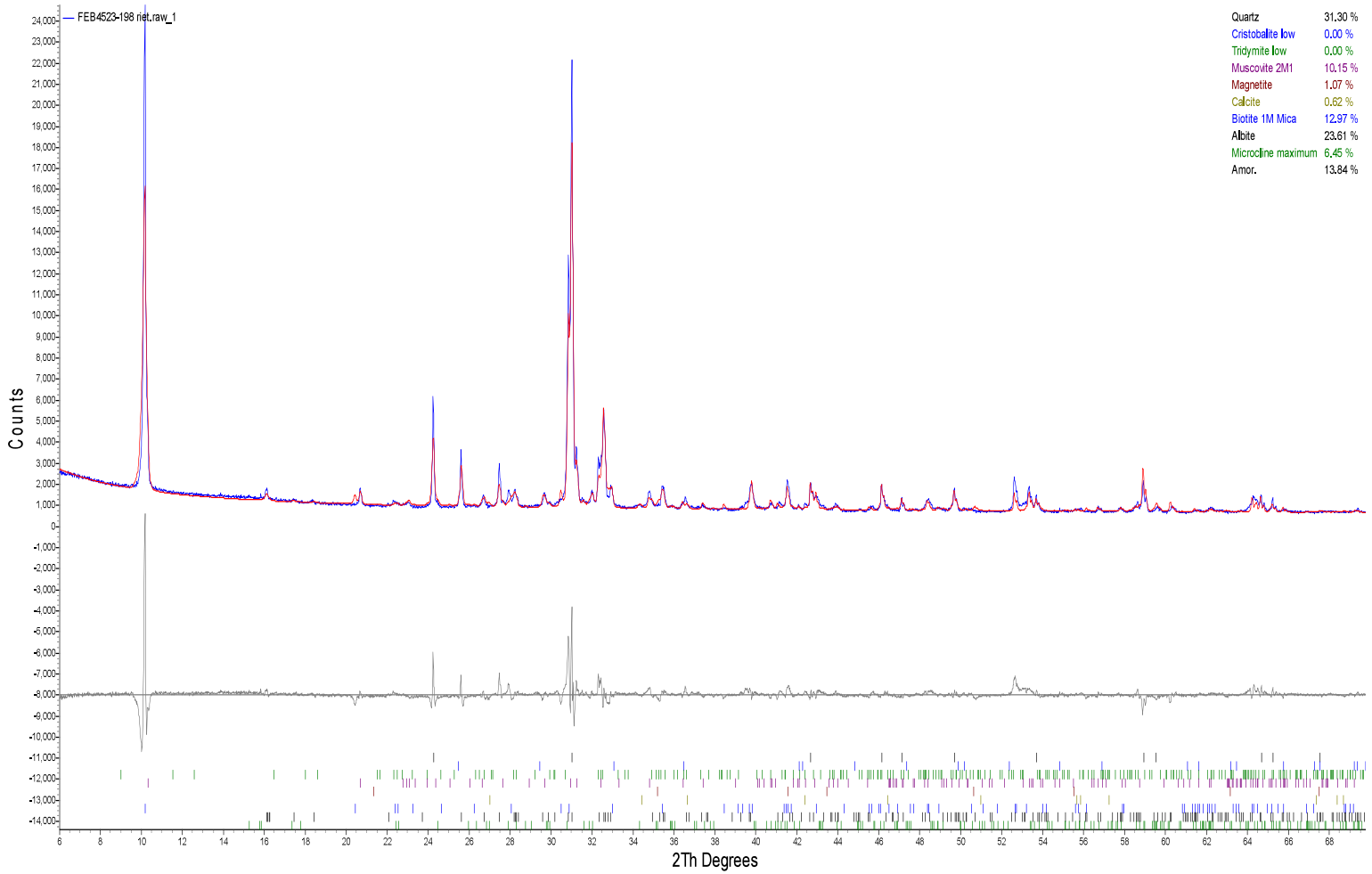
BL-20-50-AMP-15-20



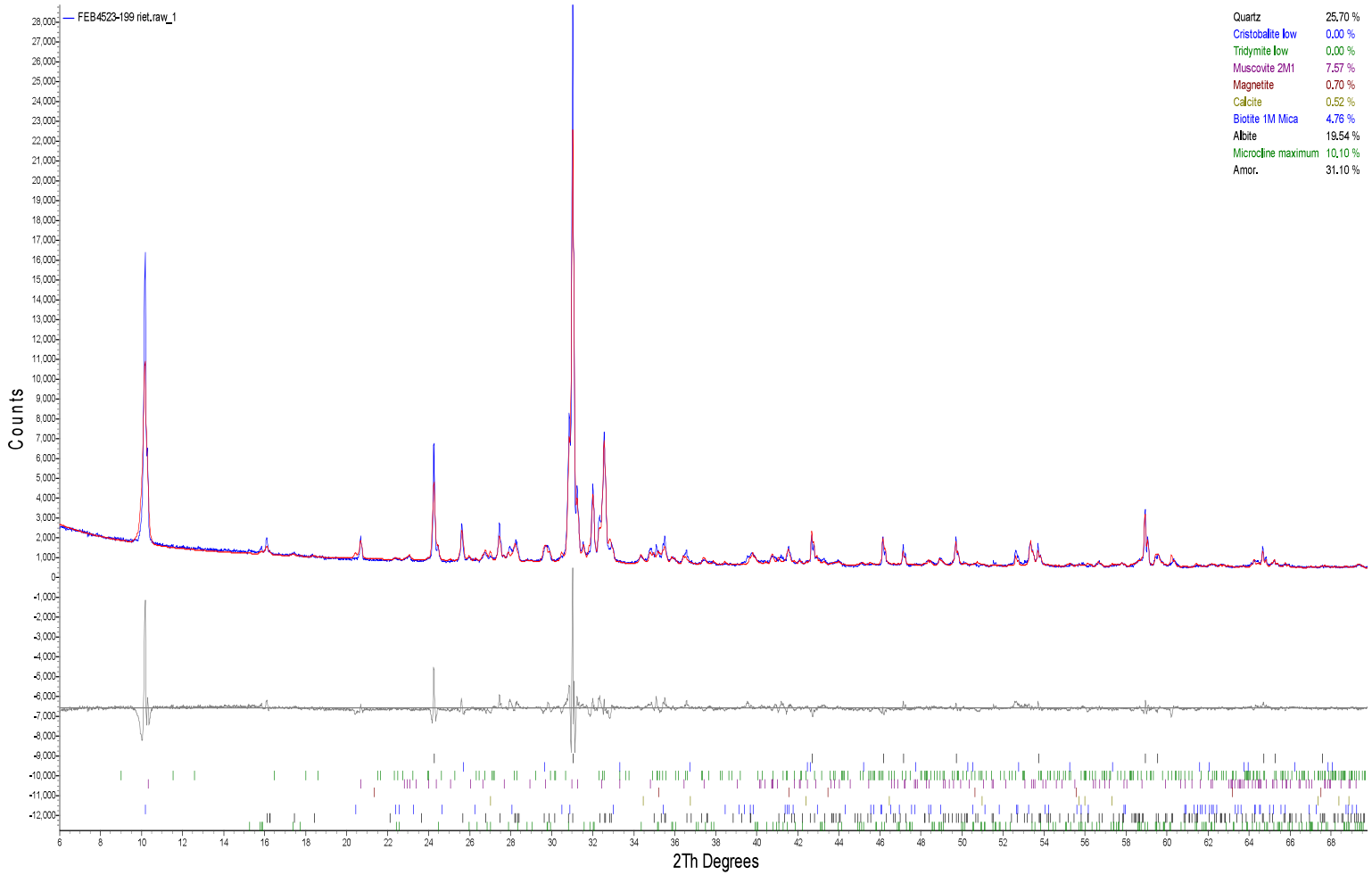
BL-20-50-GN-70-75



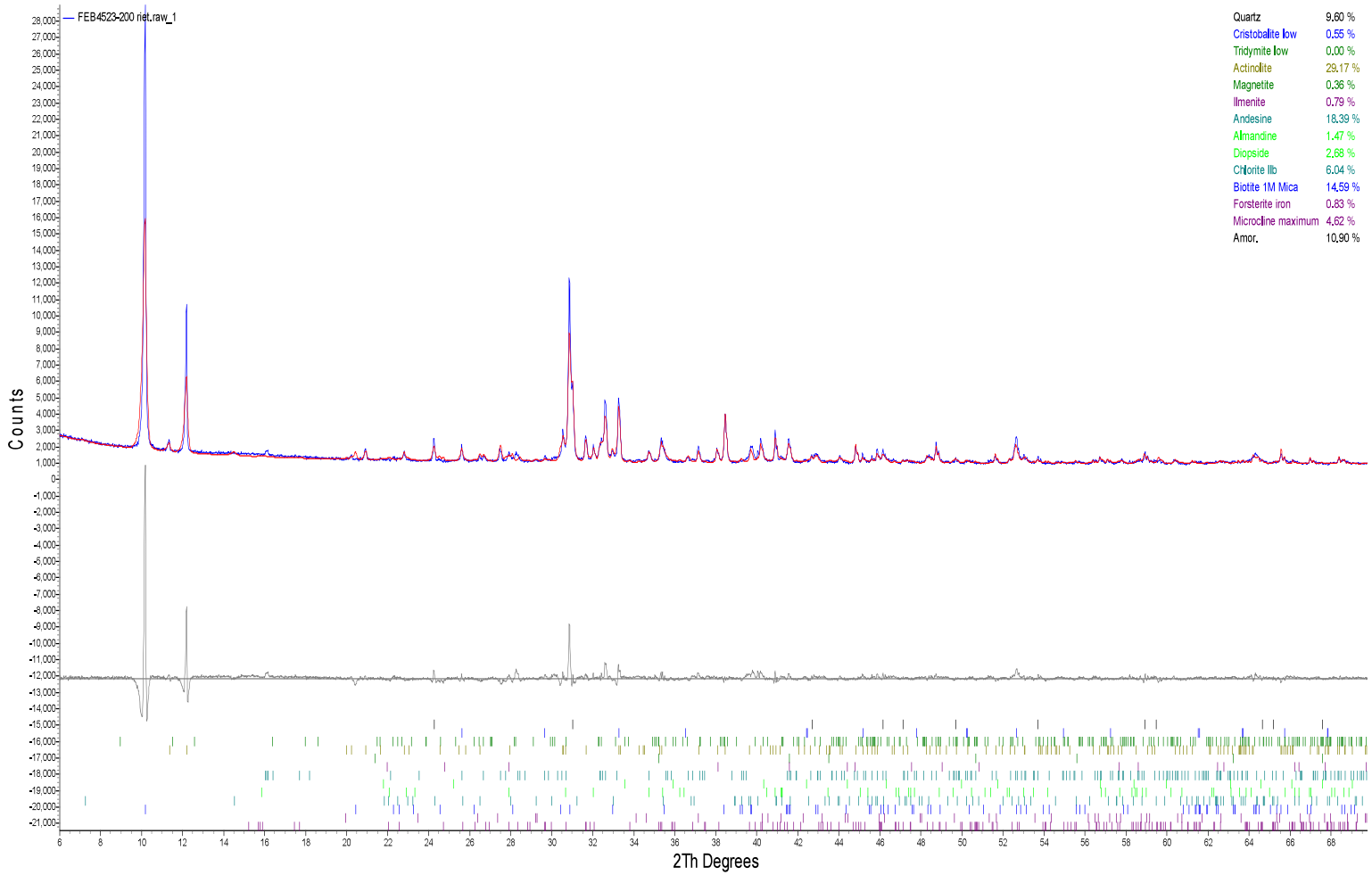
BLW-12-011-GN-50-55



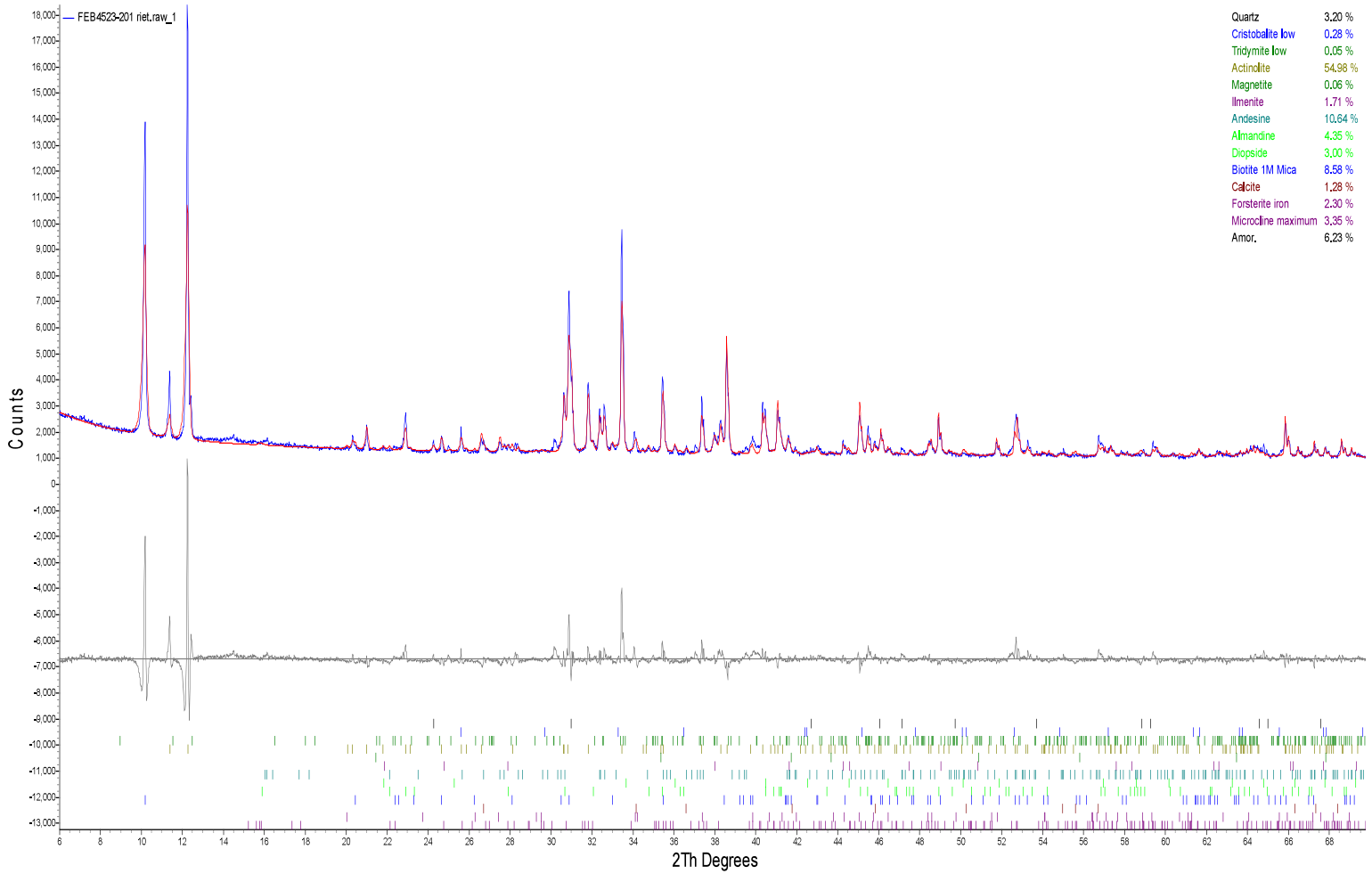
BLW-12-011-GN-115-120



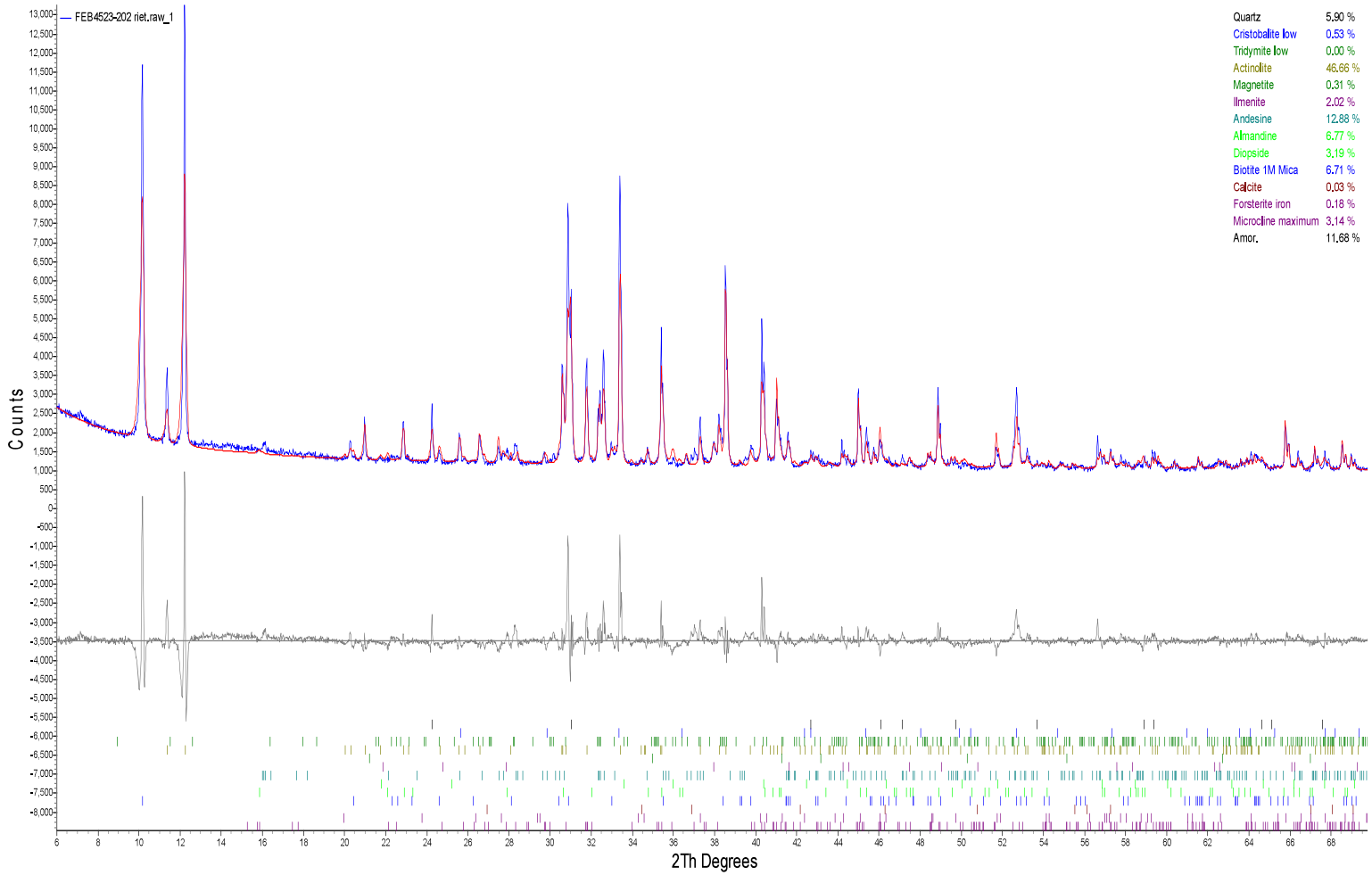
BLW-12-011-AMP-122-127



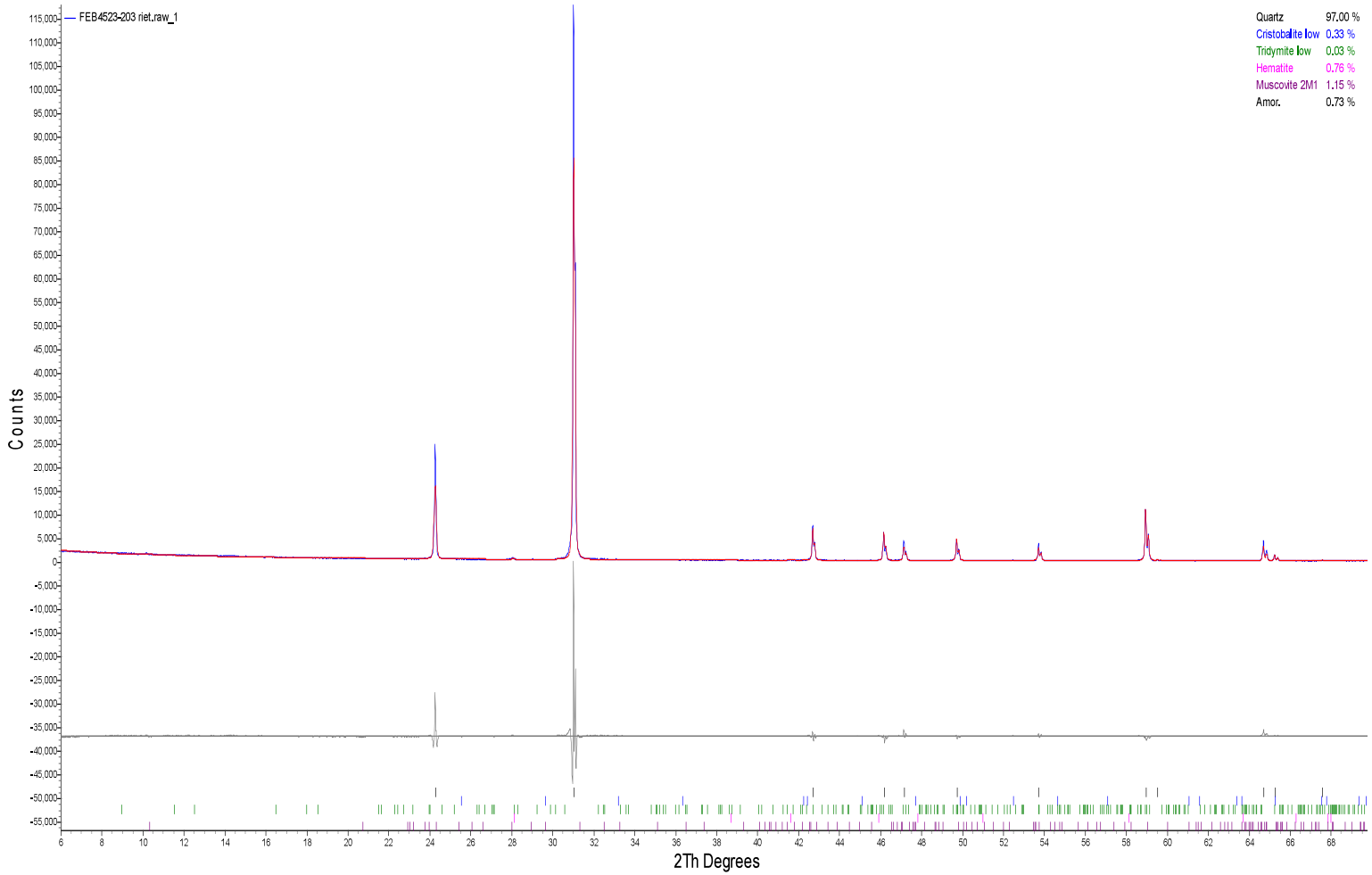
BP-18-02-AMP-115-120



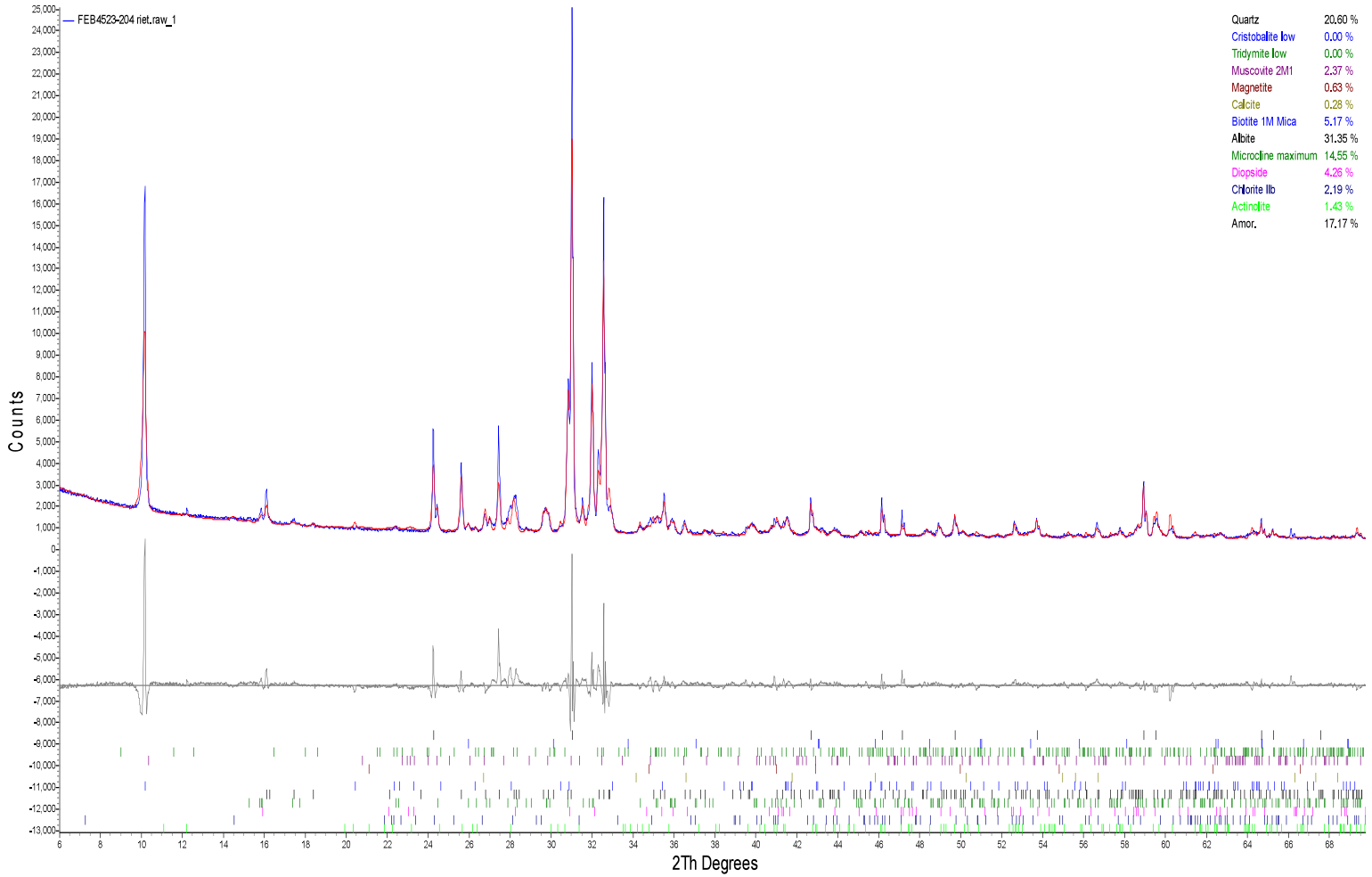
BP-18-02-AMP-165-170



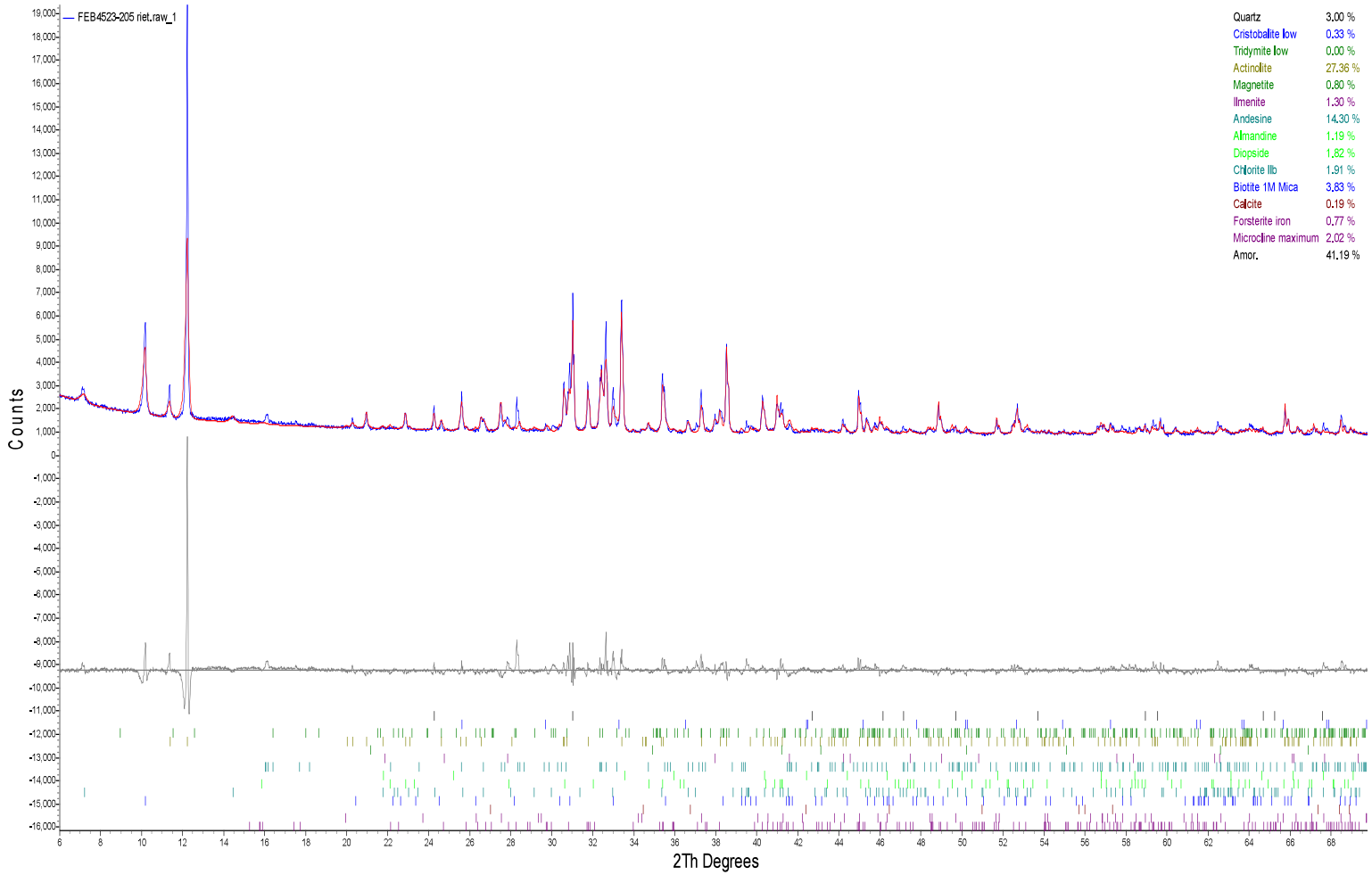
BP-18-08-QR-110-115



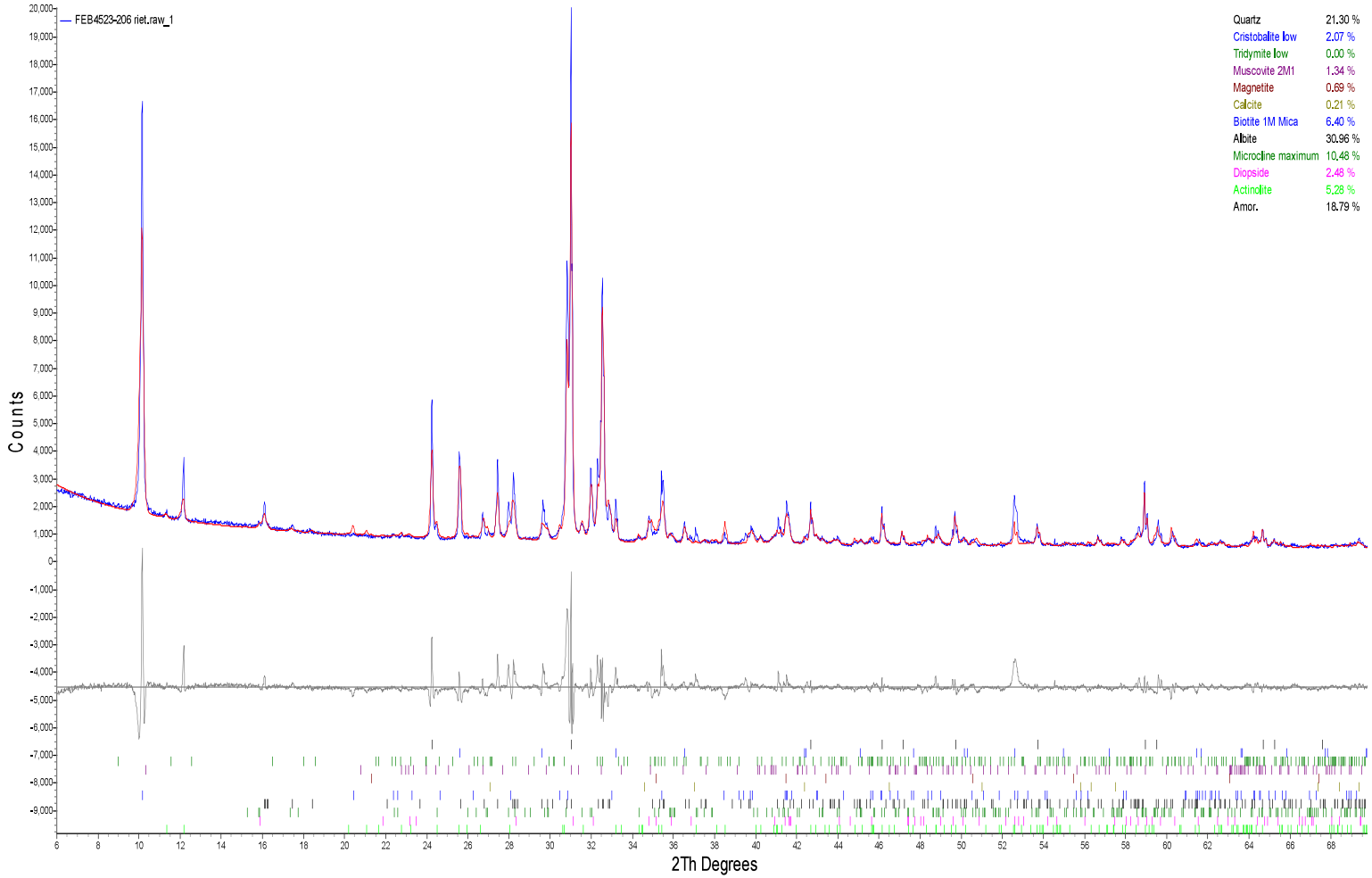
BP-18-08-GN-125-130



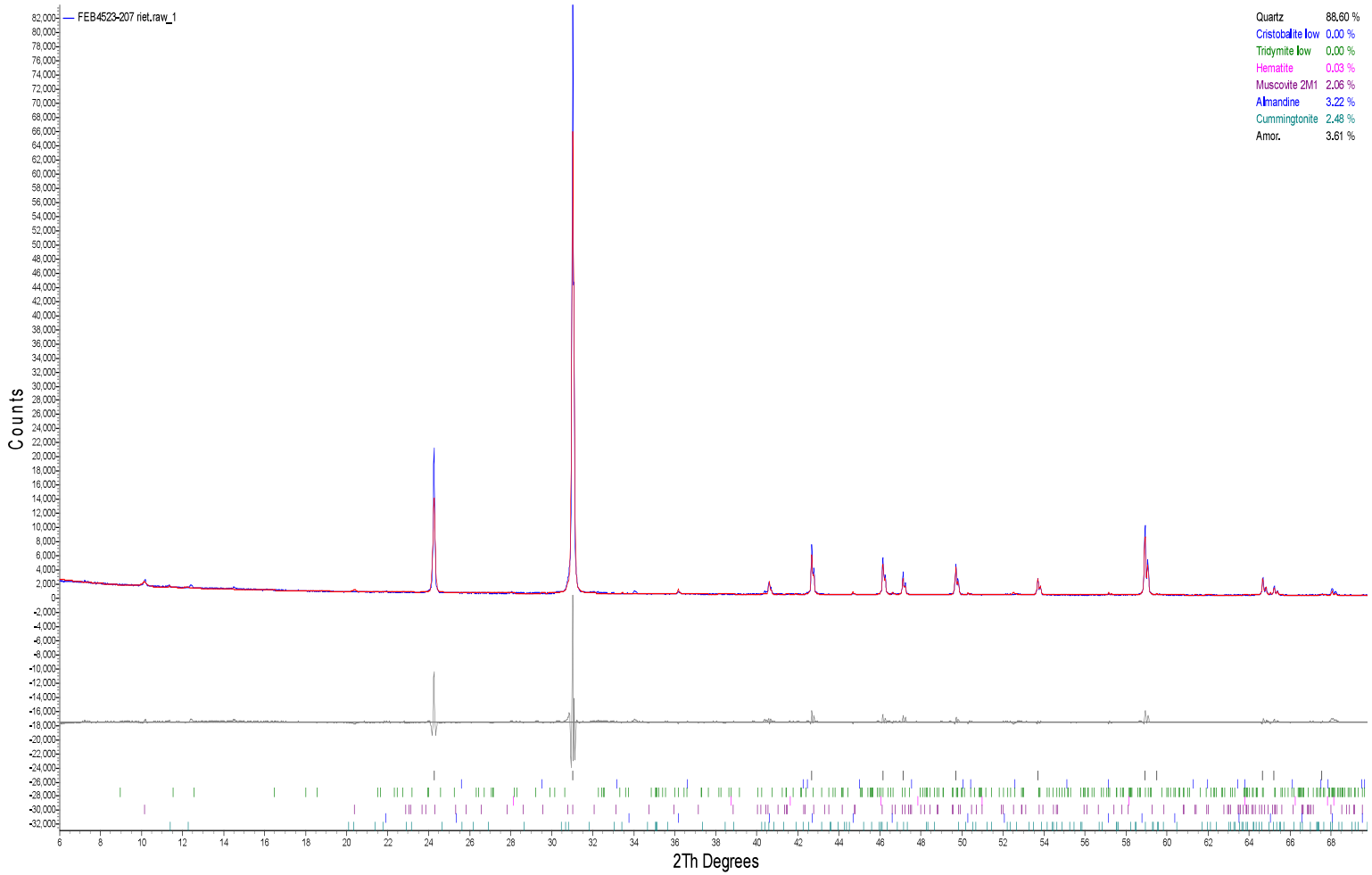
BP-18-09-AMP-10-15



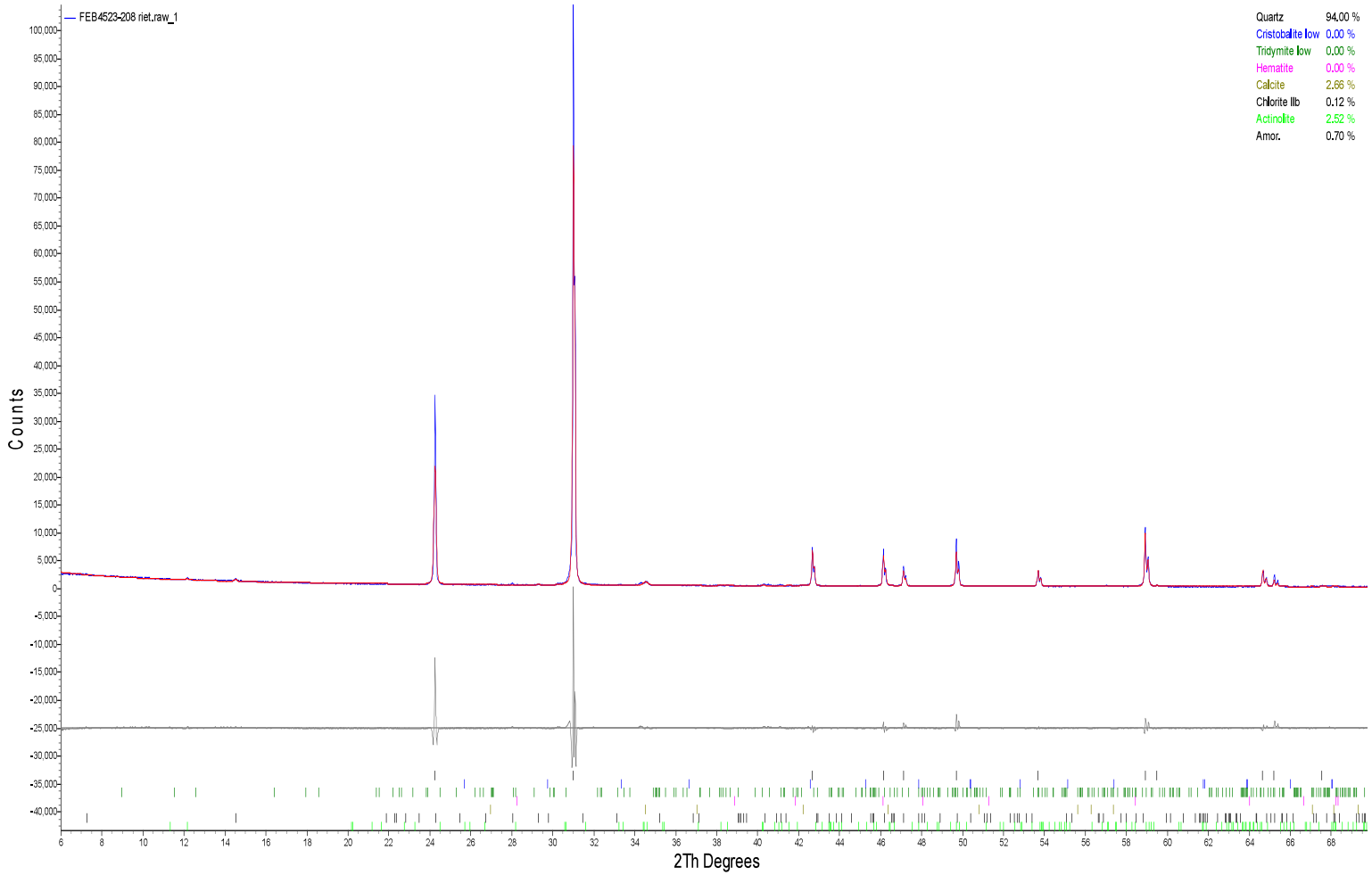
BP-18-09-GN-67-72



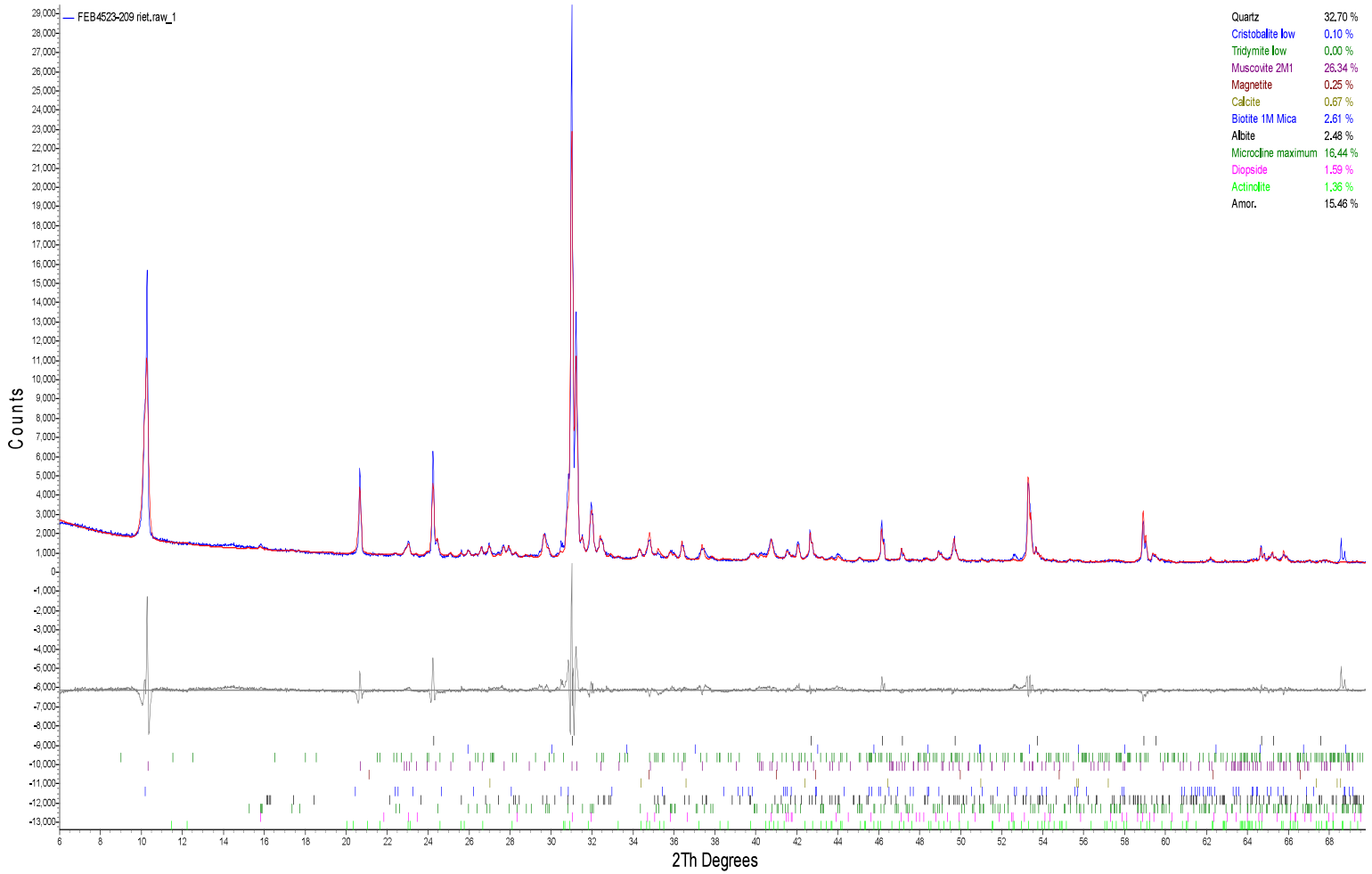
BP-18-12-QR-25-30



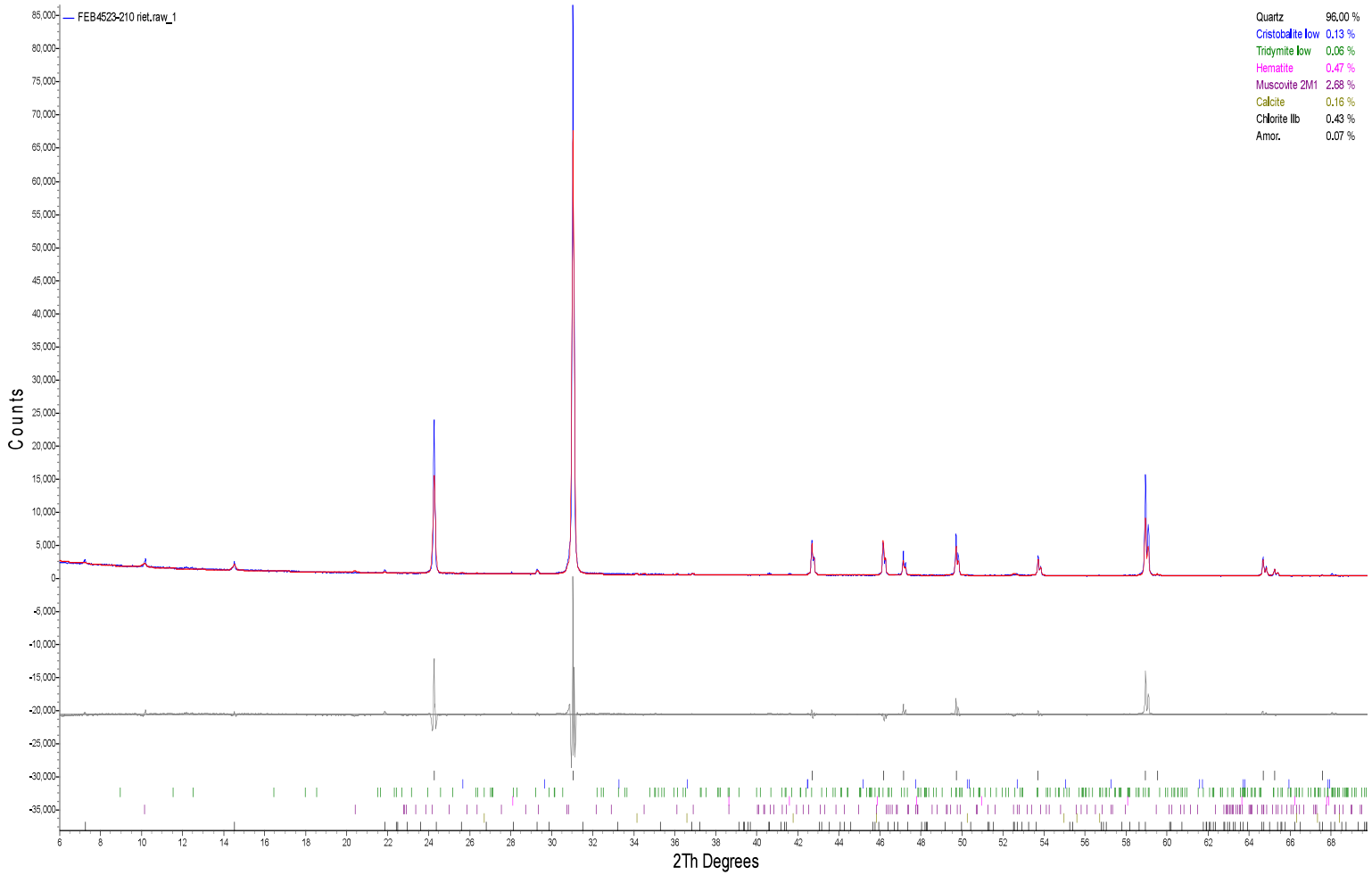
BP-18-13-QR-40-45



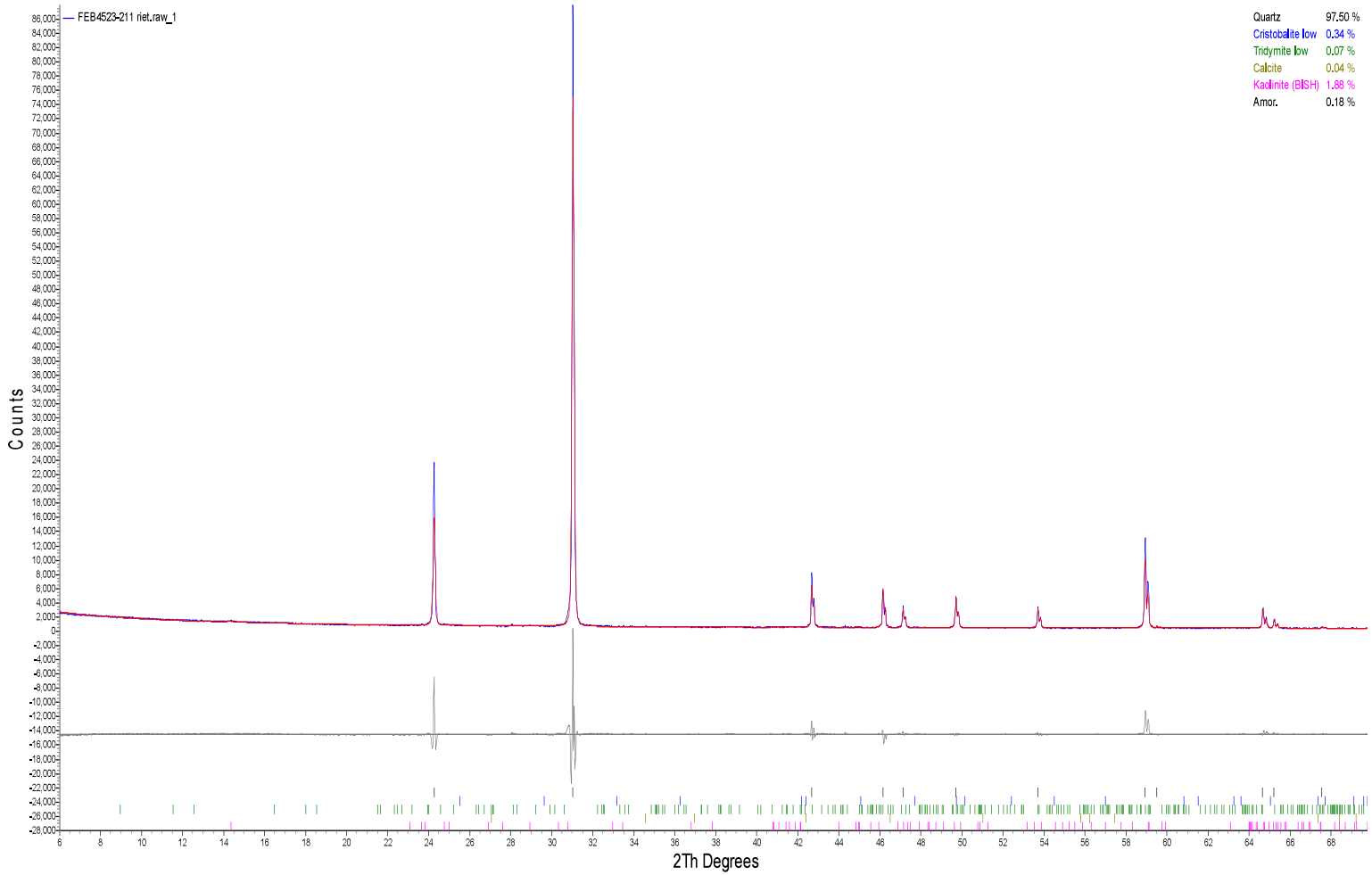
BP-18-13-GN-59-64



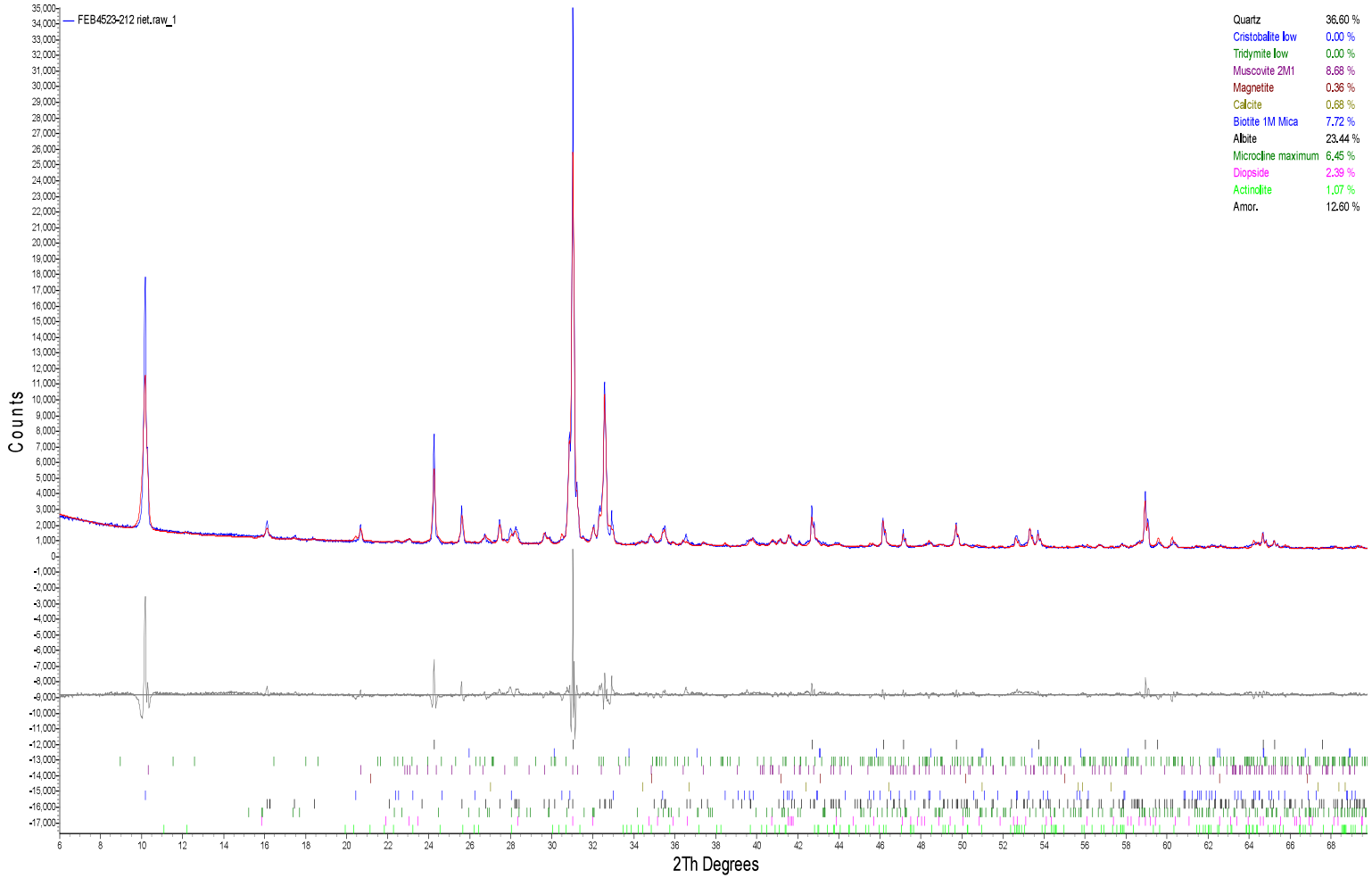
BP-18-14-QR-35-40



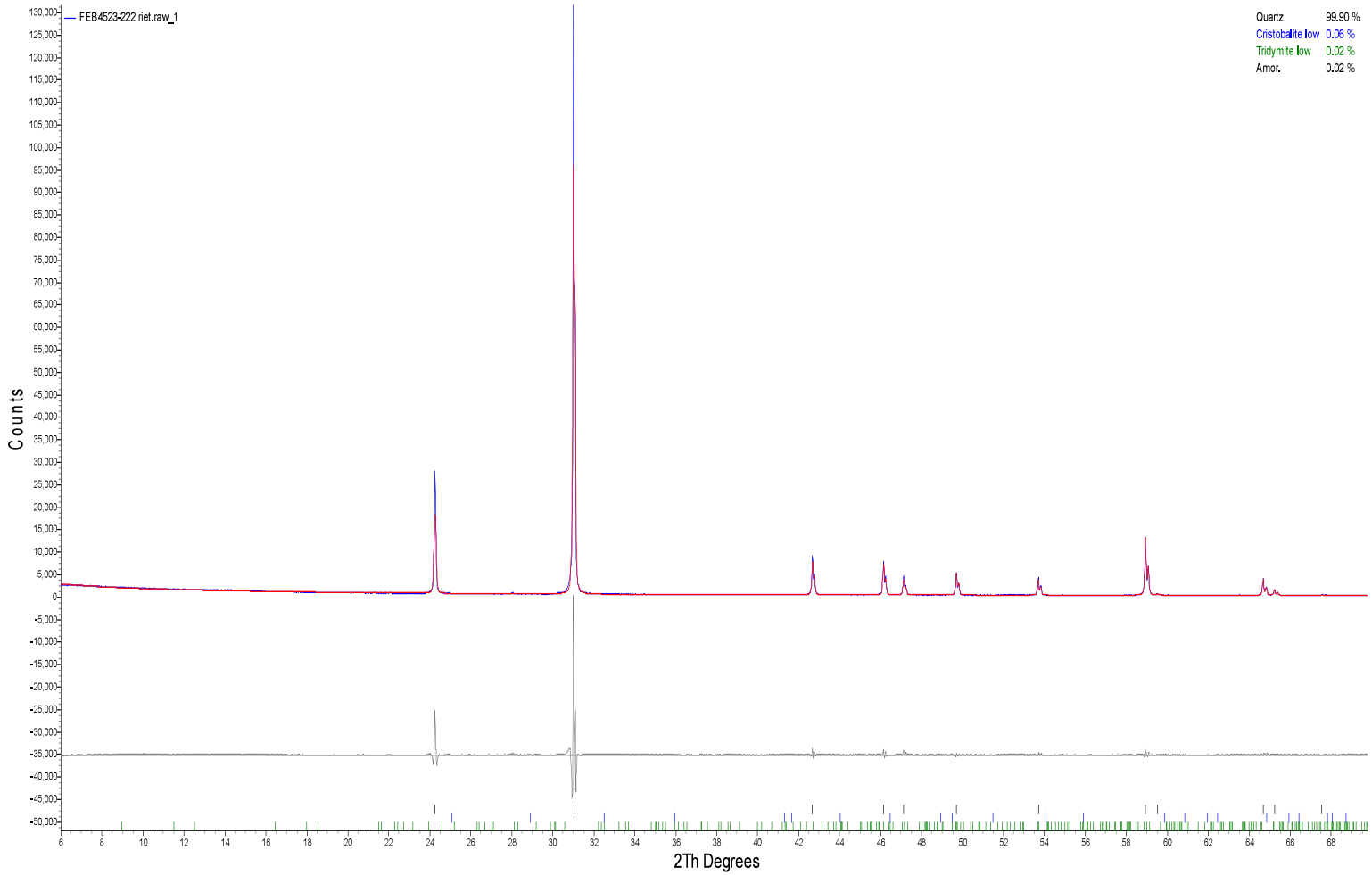
BP-18-20-QR-80-85



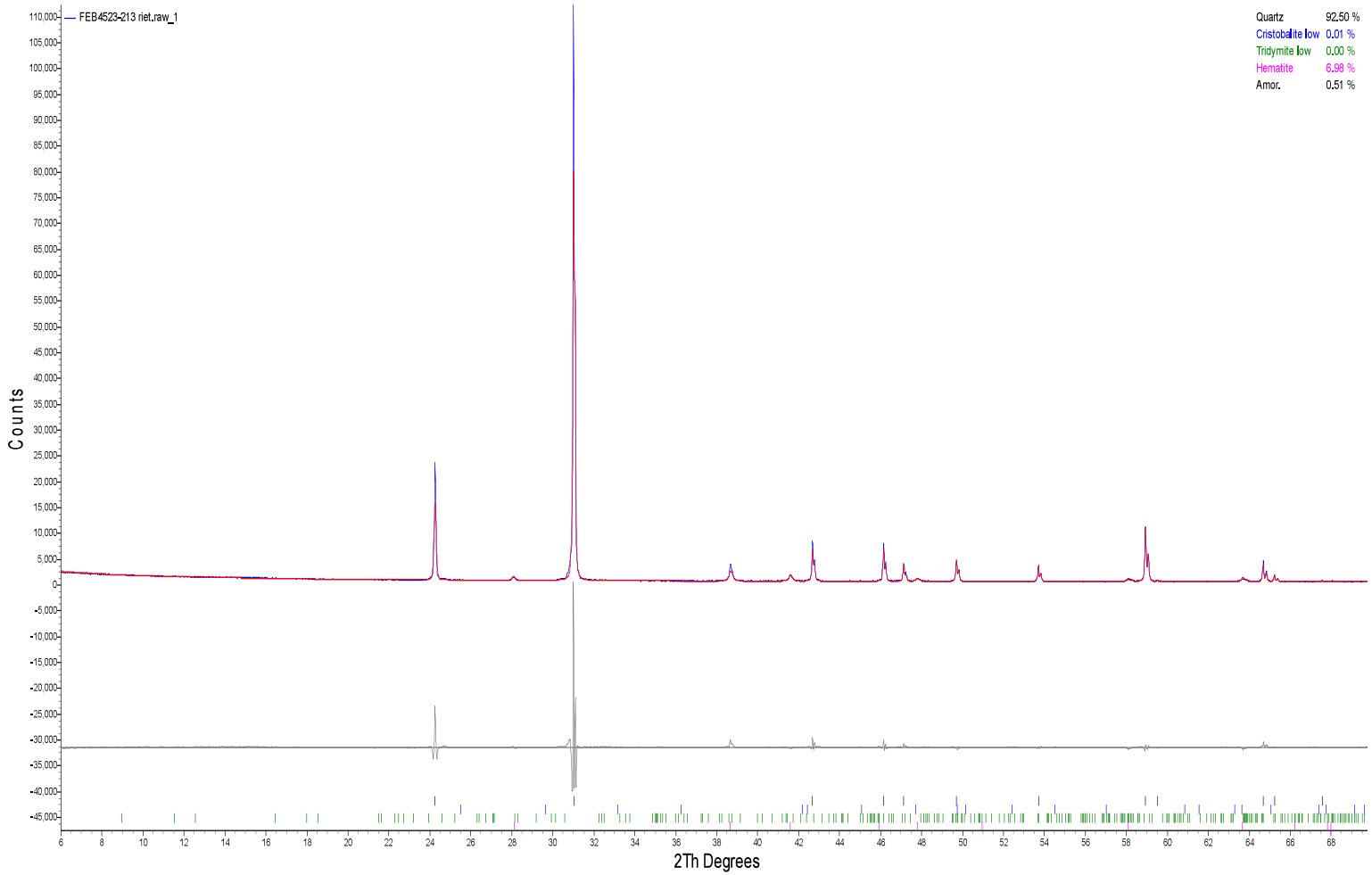
BP-18-20-GN-96-101



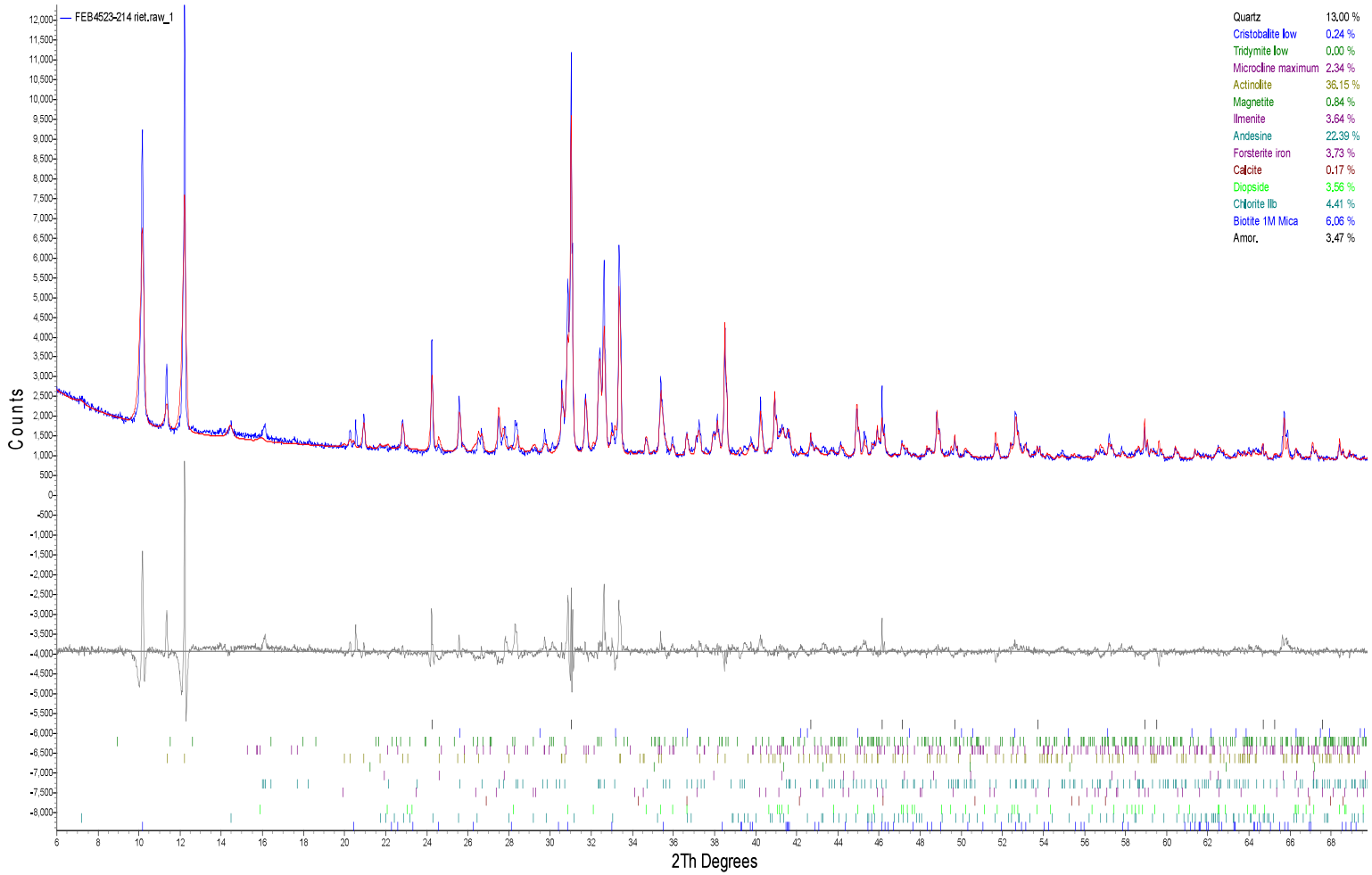
98DN-061-QR-35-40



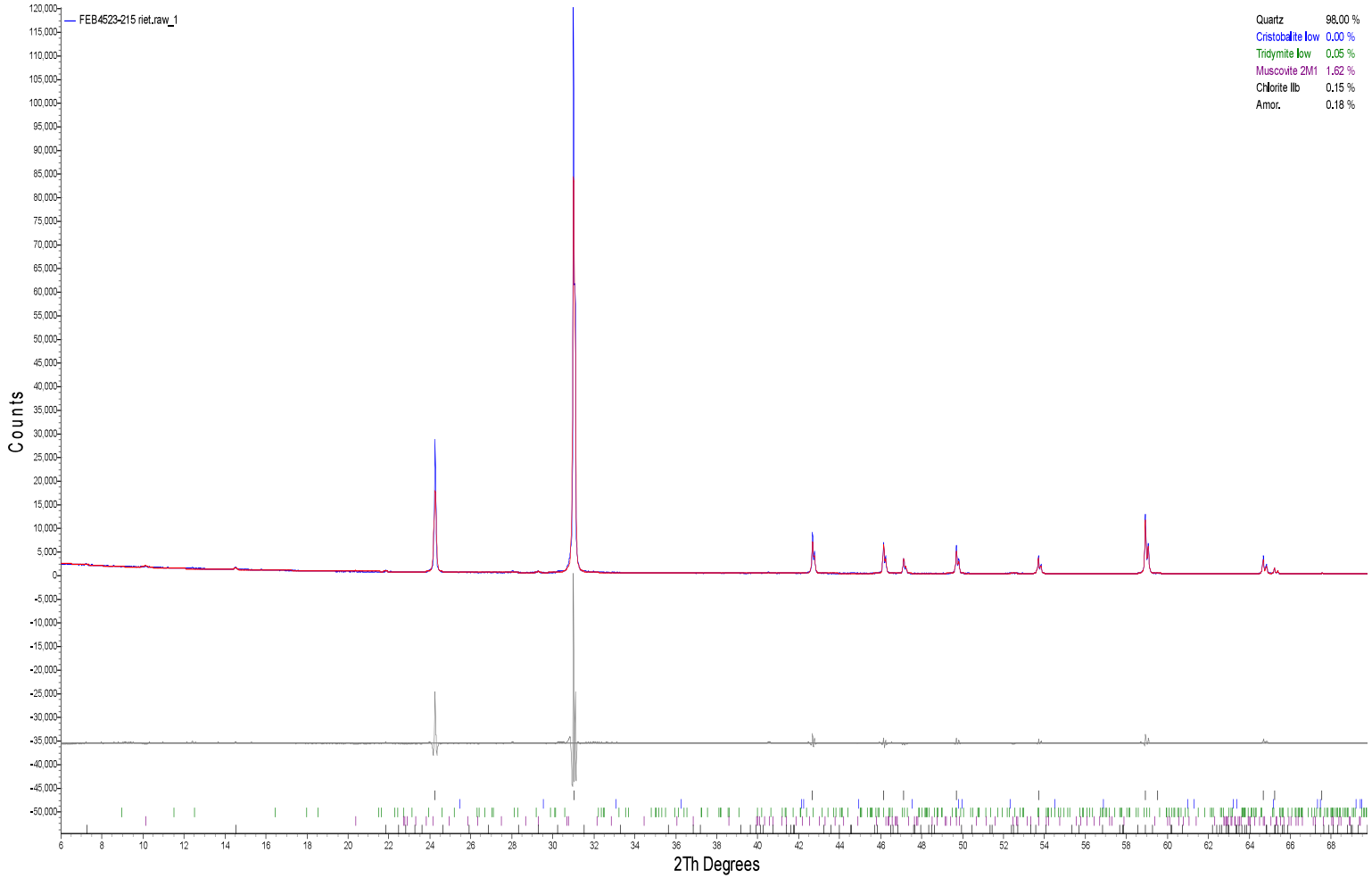
98DN-061-QRIF-48-53



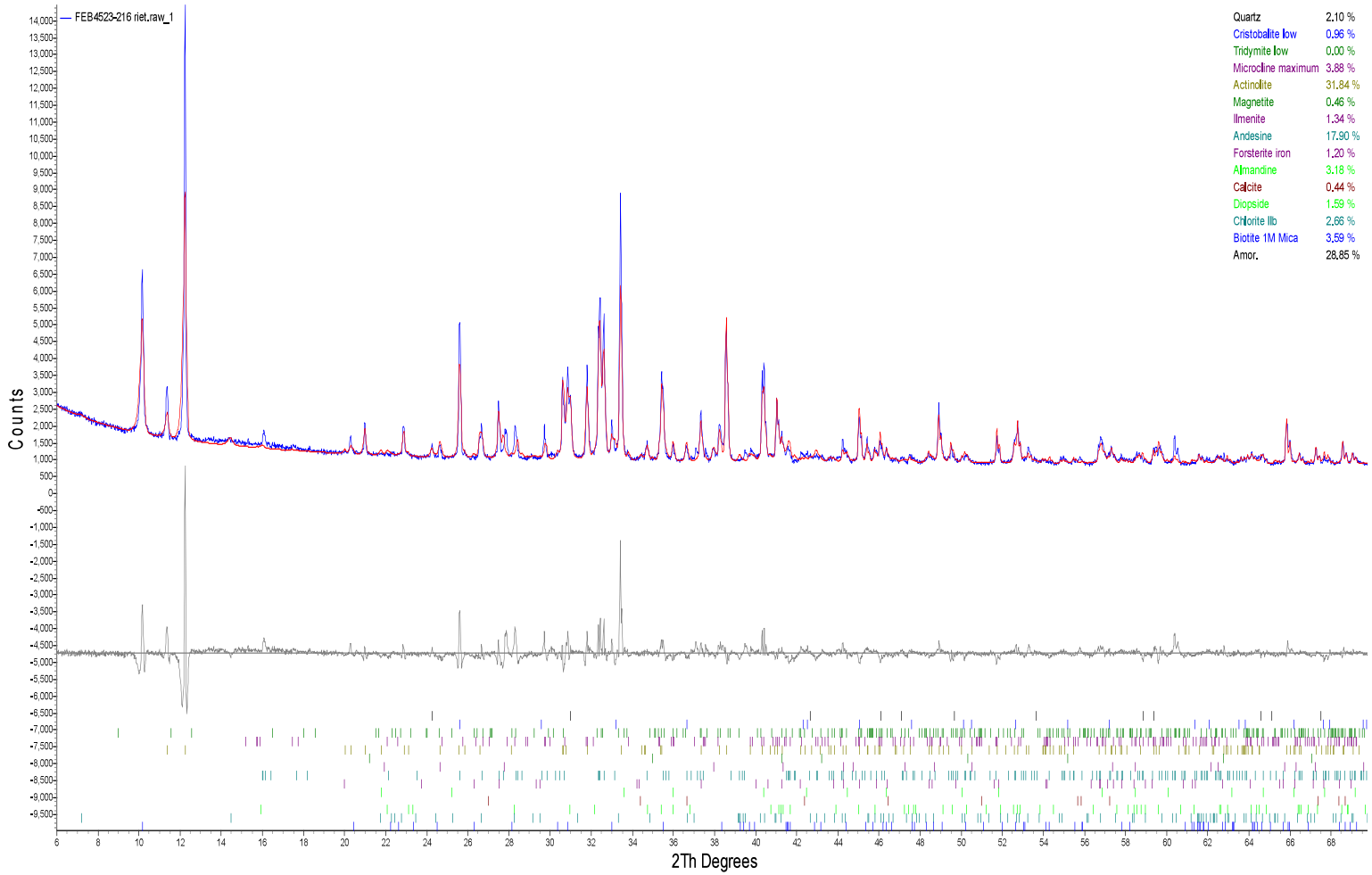
98DN-061-AMP-130-135



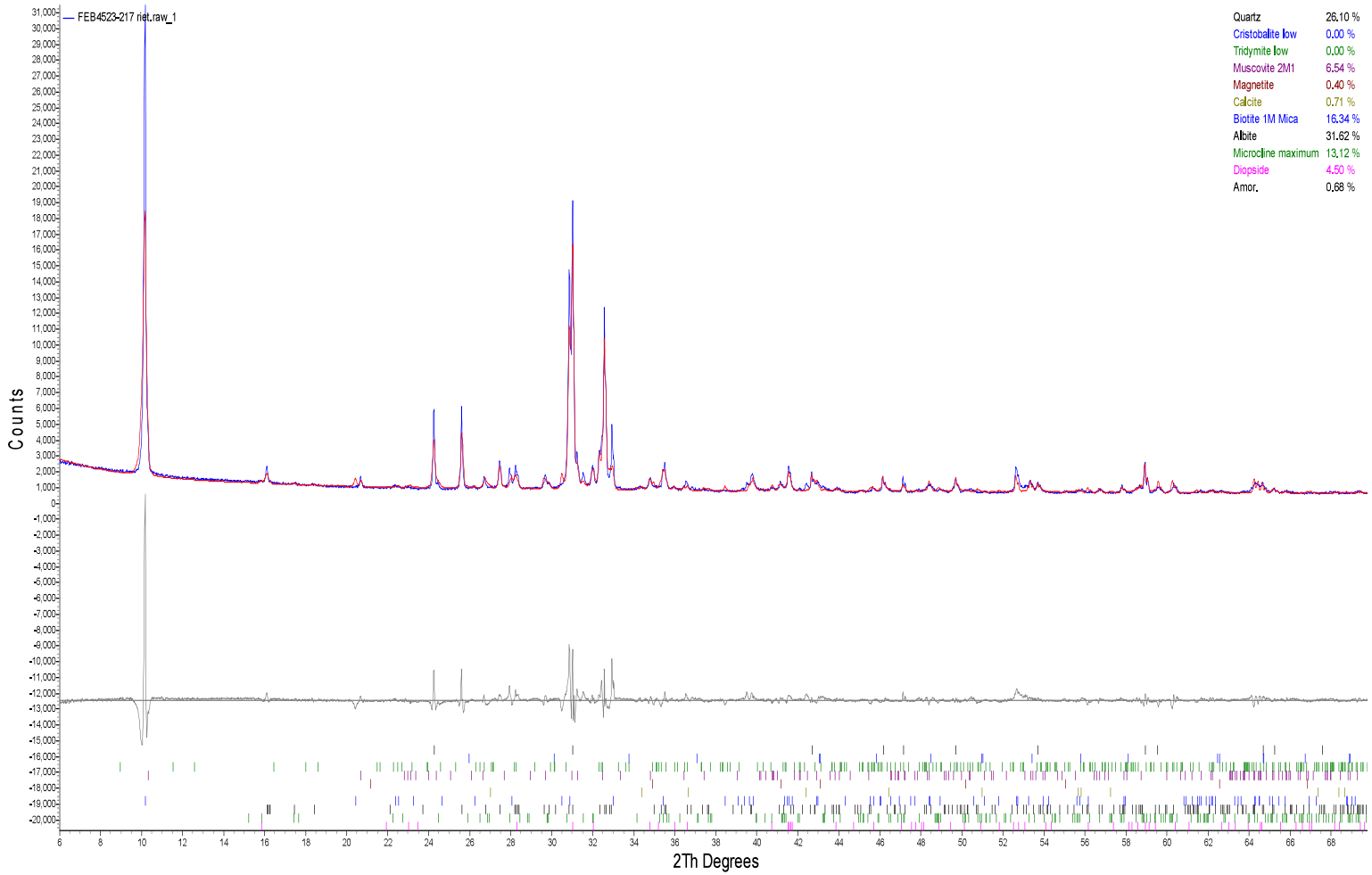
BL-12-101-QR-40-45



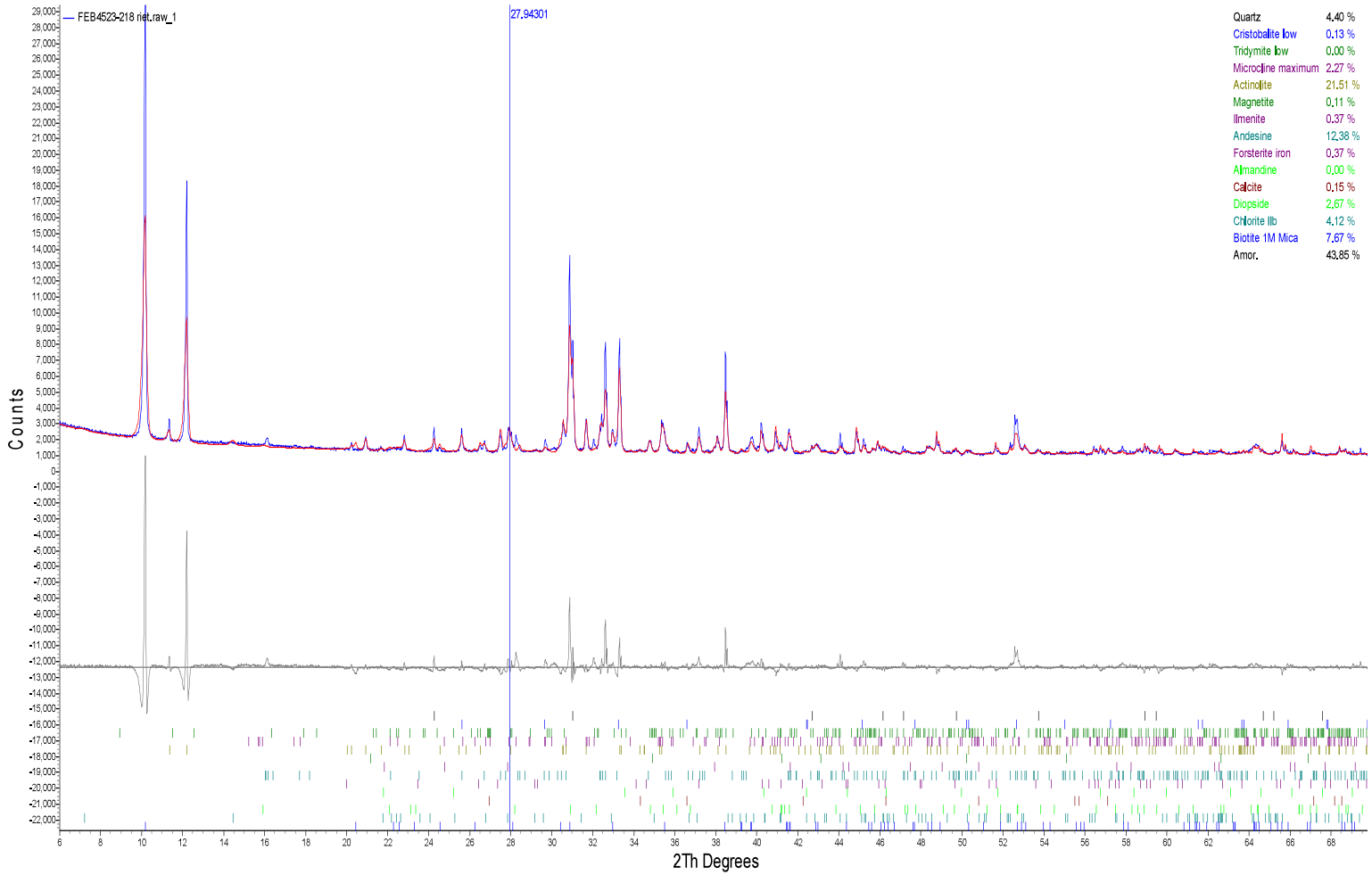
BL-12-101-AMP-70-75



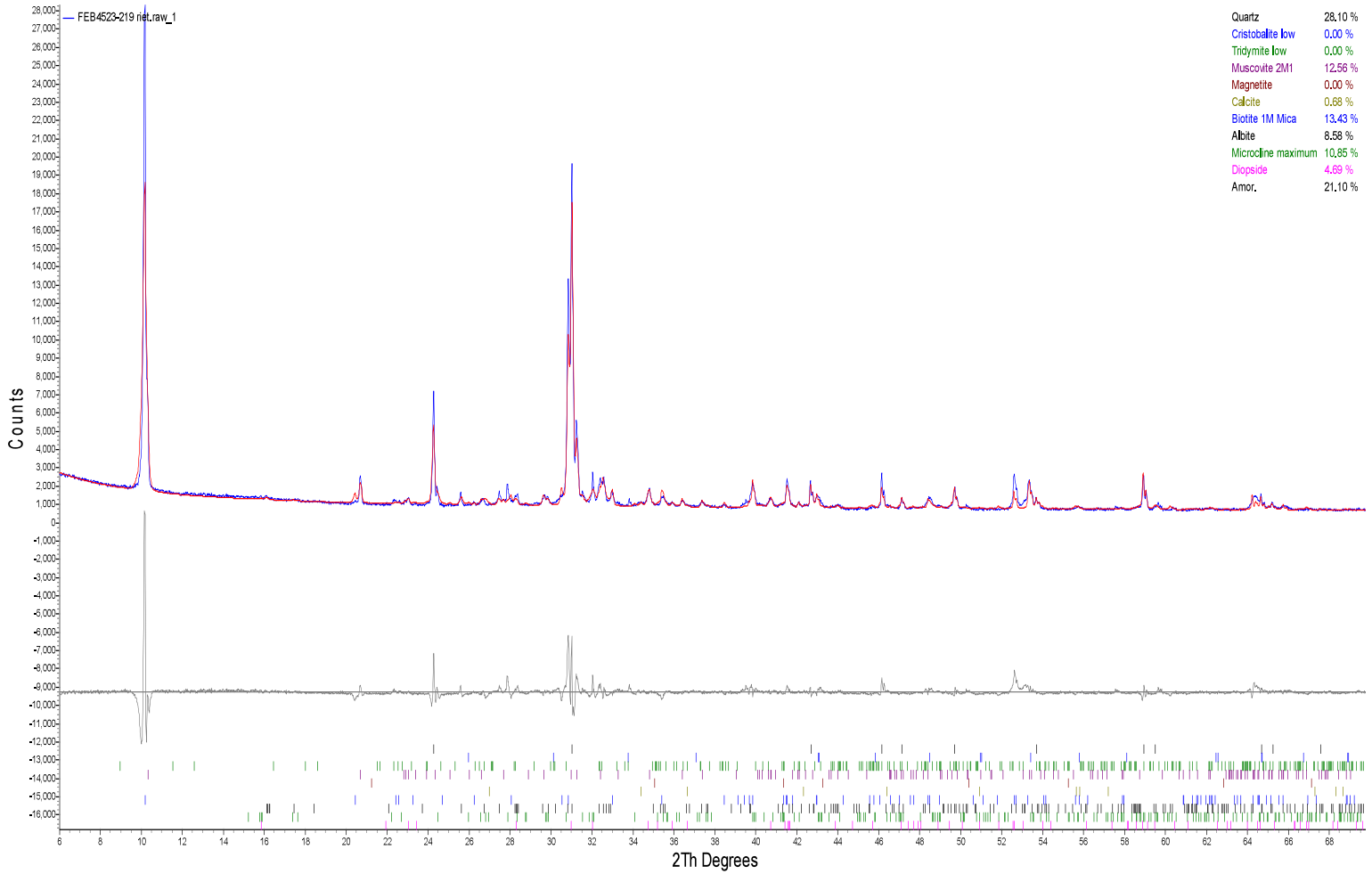
BL-12-55-GN-10-15



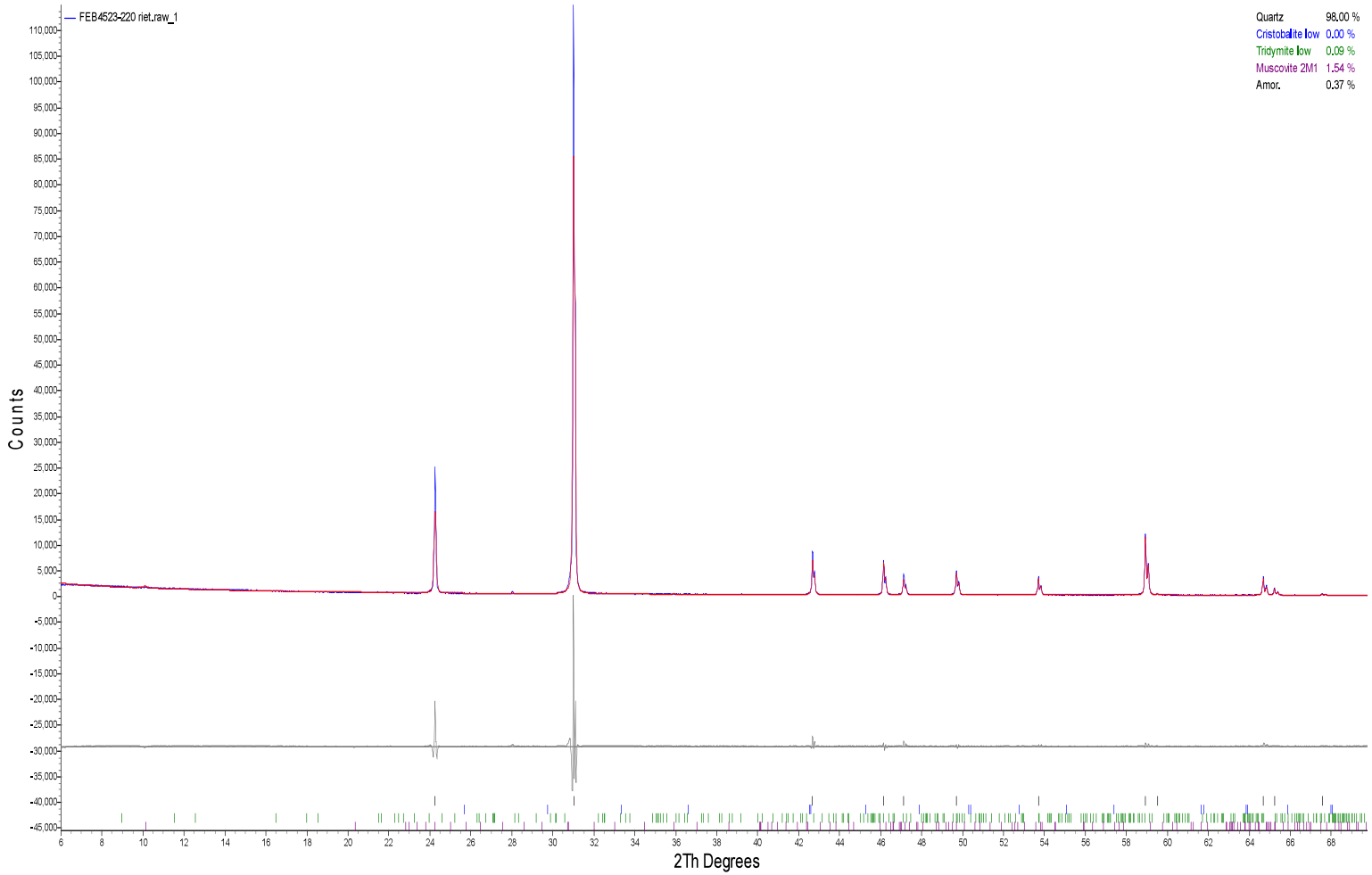
BL-12-55-AMP-56-61



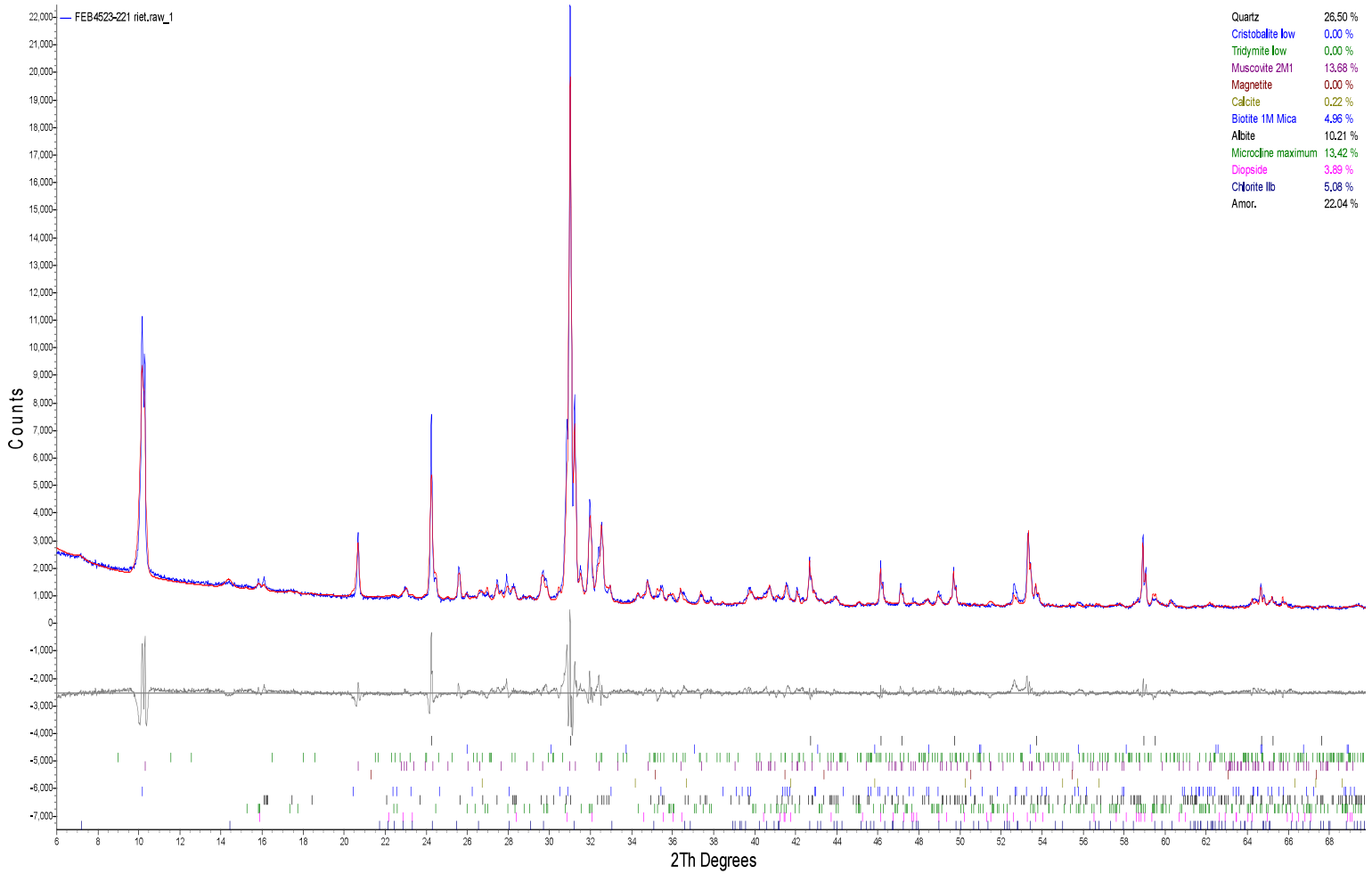
BL-12-55-GN-61-66



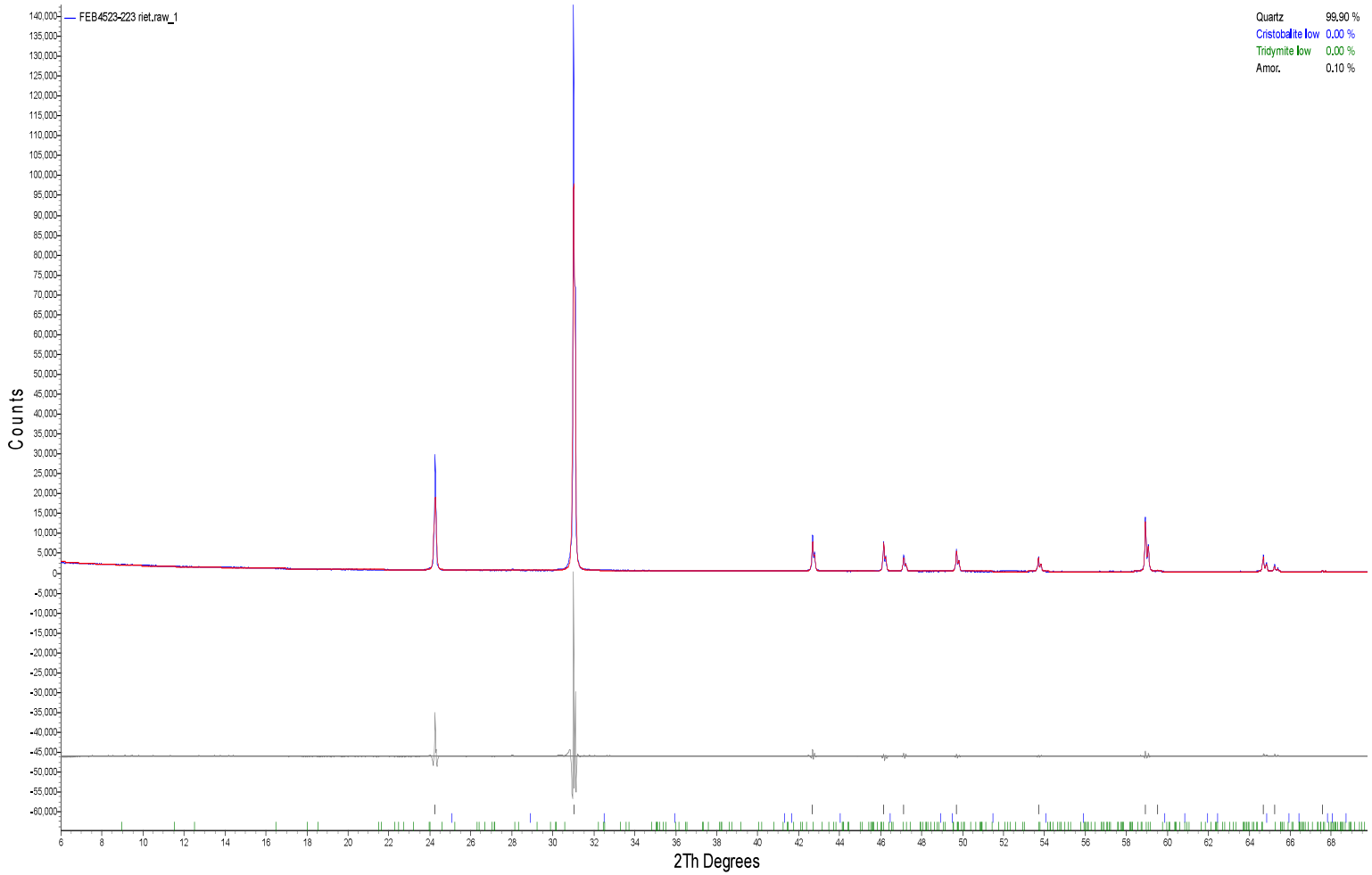
BL-12-68-QR-50-55



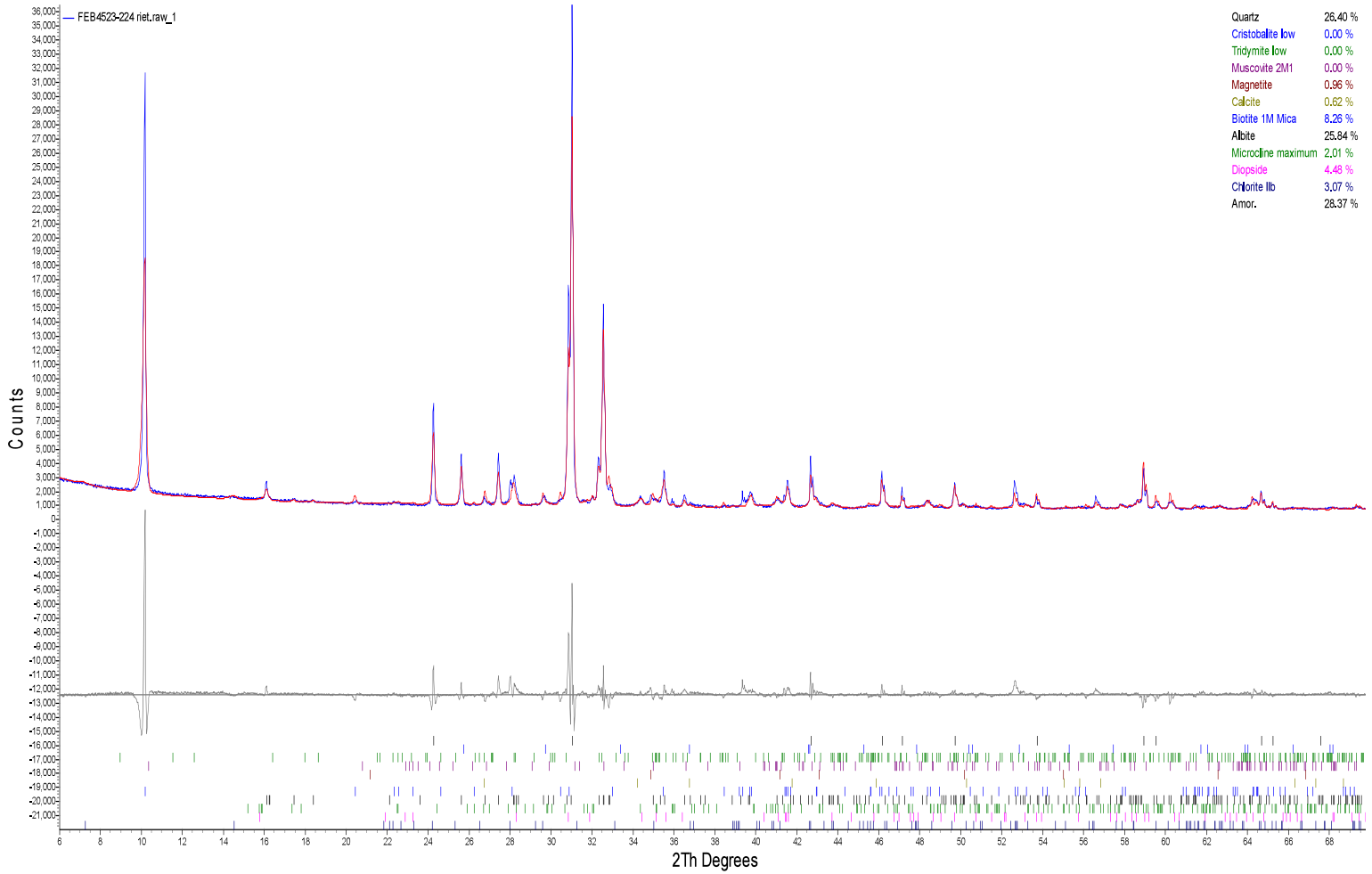
BL-12-68-GN-120-125



BP-18-23-QR-85-90



BP-18-23-GN-100-105



DESTINATAIRE	:	MICHEL GROLEAU (MFQ)
C.C.	:	CHRISTIAN SOLE ET YOURI BROCHU (WSP - GOLDER)
DATE	:	29 SEPTEMBRE 2022
OBJET	:	TR310 – TÂCHE 4 : CONTRÔLE QUALITÉ DES ANALYSES PAR DRX

1. INTRODUCTION

L'objectif du projet TR310 est d'aider à la quantification de la silice cristalline des matériaux (stériles) utilisés pour la construction des routes dans le développement du projet du Lac Bloom. La présente note technique adresse les résultats de la tâche 4 « Contrôle qualité des analyses par DRX ». L'objectif de cette tâche était d'effectuer un contrôle des résultats des analyses quantitatives de diffraction des rayons obtenus par un laboratoire tiers. Un total de 20 échantillons ont été sélectionnés aléatoirement parmi les échantillons fournis par le client (tableau 1).

2. MÉTHODOLOGIE

Les échantillons ont été homogénéisés, puis une portion représentative a été prélevée et pulvérisée afin d'obtenir une proportion de 75 % passant 106 µm. Chaque échantillon a ensuite été préparé pour l'analyse par diffraction des rayons X. Cette dernière a été réalisée avec un diffractomètre AERIS (Panalytical) équipé d'une anode au cobalt. Les phases ont été identifiées avec le logiciel HighScore Plus (Panalytical) et la base de données COD (Crystallography Open Database). La quantification a été effectuée selon la méthode Rietveld. Seul le quartz α peut être quantifié par cette méthode. La limite de détection de la méthode est de ± 1 %pds. Cette valeur dépend de la complexité de l'assemblage minéral analysé et des phases minérales présentes.

Corem
1180, rue de la Minéralogie, Québec (Québec) G1N 1X7 Canada
☎ **(418) 527-8211** • **(418) 527-9188**

3. RÉSULTATS

Tableau 1. Liste des échantillons et proportions en quartz α (%pds)

Échantillon	Désignation	Quartz α (%)
138117-01	#1 98DN-053-AMP-150-155	0,9
138117-02	#2 98DN-069-AMP-10-15	3,1
138117-03	#3 BL-12-14-AMP-155-160	5,1
138117-04	#4 BL-10-14-AMP-80-85	3,1
138117-05	#5 BL-10-44-AMP-355-360	7,3
138117-06	#6 BL-12-09-AMP-100-105	5,0
138117-07	#7 BL-10-36-AMP-110-115	8,1
137858-01	#8 BL-10-44-AMP-60-65	6,6
137858-05	#9 BL-12-28-AMP-75-80	5,1
137858-09	#10 98DN-072-AMP-110-115	4,5
137858-13	#11 BL-12-07-AMP-33-38	9,1
137858-17	#12 98DN-072-AMP-155-160	5,7
137858-21	#13 98DN-038-AMP-110-115	4,0
137858-25	#14 BL-10-68-AMP-115-120	3,5
137864-01	#15 98DN-073-AMP-70-75	4,7
138607-01	#16 98DN-053-AMP-200-205	6,1
137864-05	#17 BL-12-70-AMP-90-95	3,1
137864-09	#18 BL-10-36-AMP-150-155	5,6
137864-13	#19 98DN-049-AMP-70-75	3,5
137864-17	#20 BL-10-20-AMP-35-40	4,0

Réalisé par :

Carlos Arbiol, Ph. D., minéralogiste

Clémence Du Breuil, Ph. D., minéralogiste

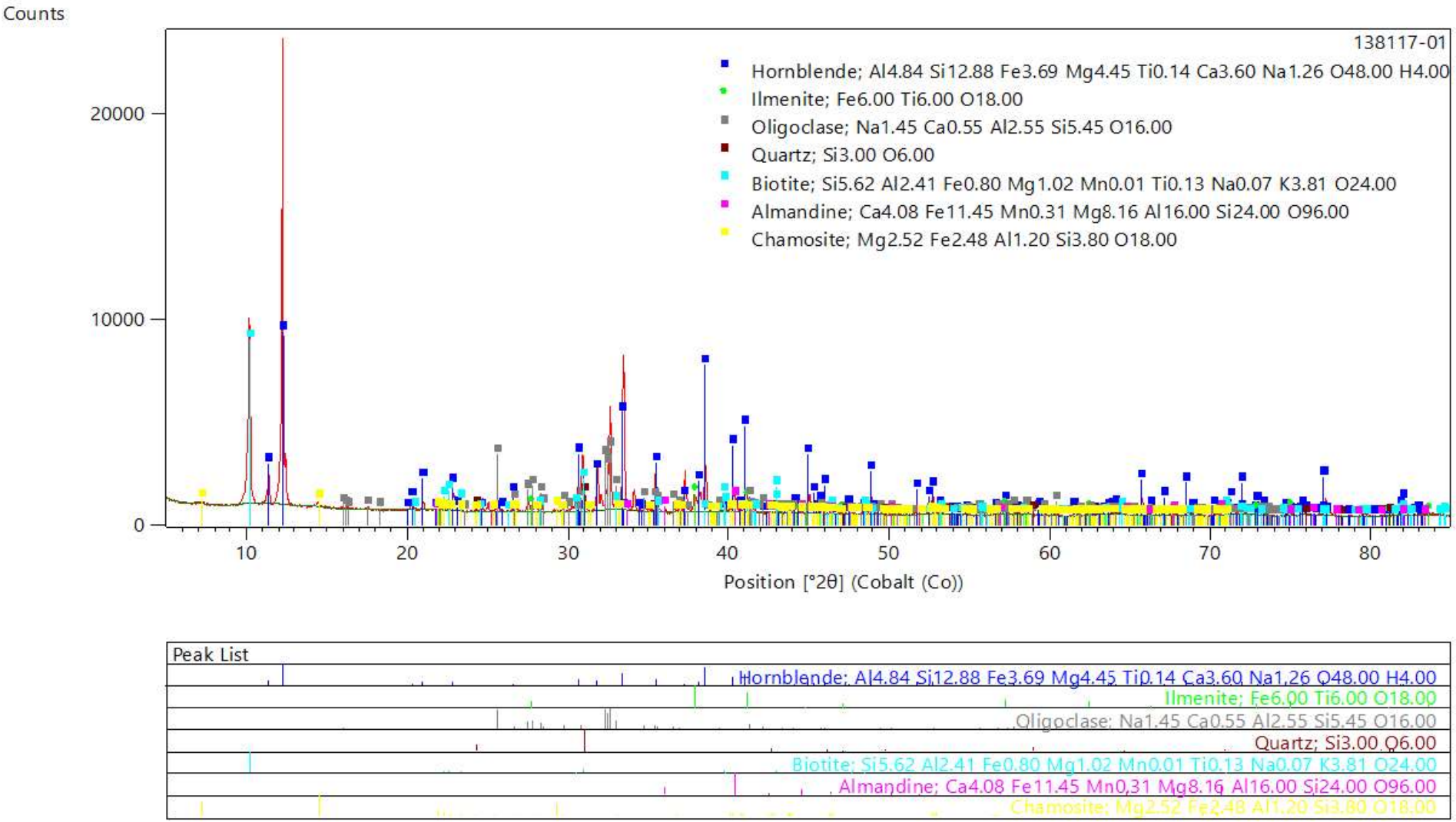
Révisé par :

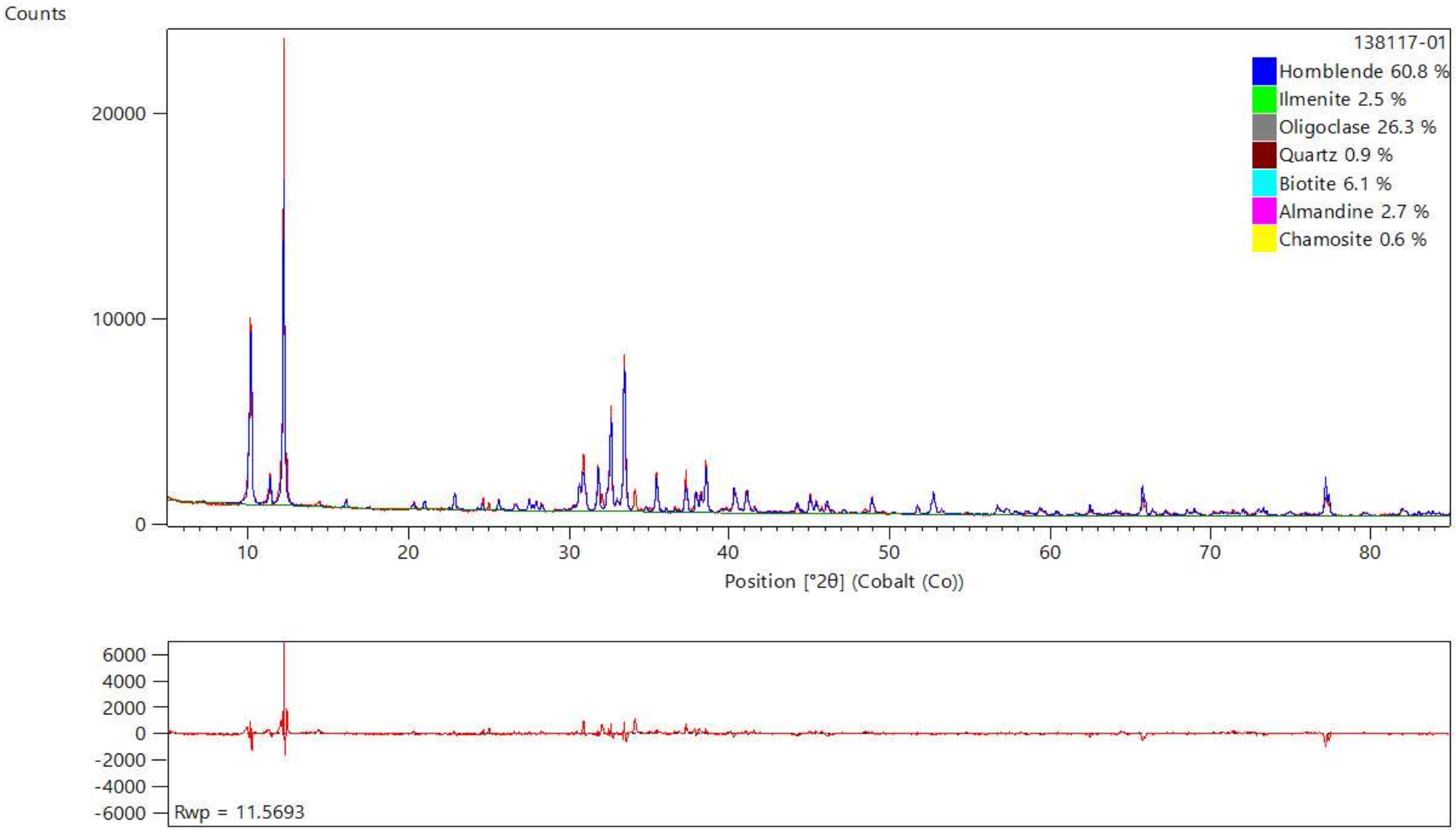
Alexander Ure, Ph. D., minéralogiste

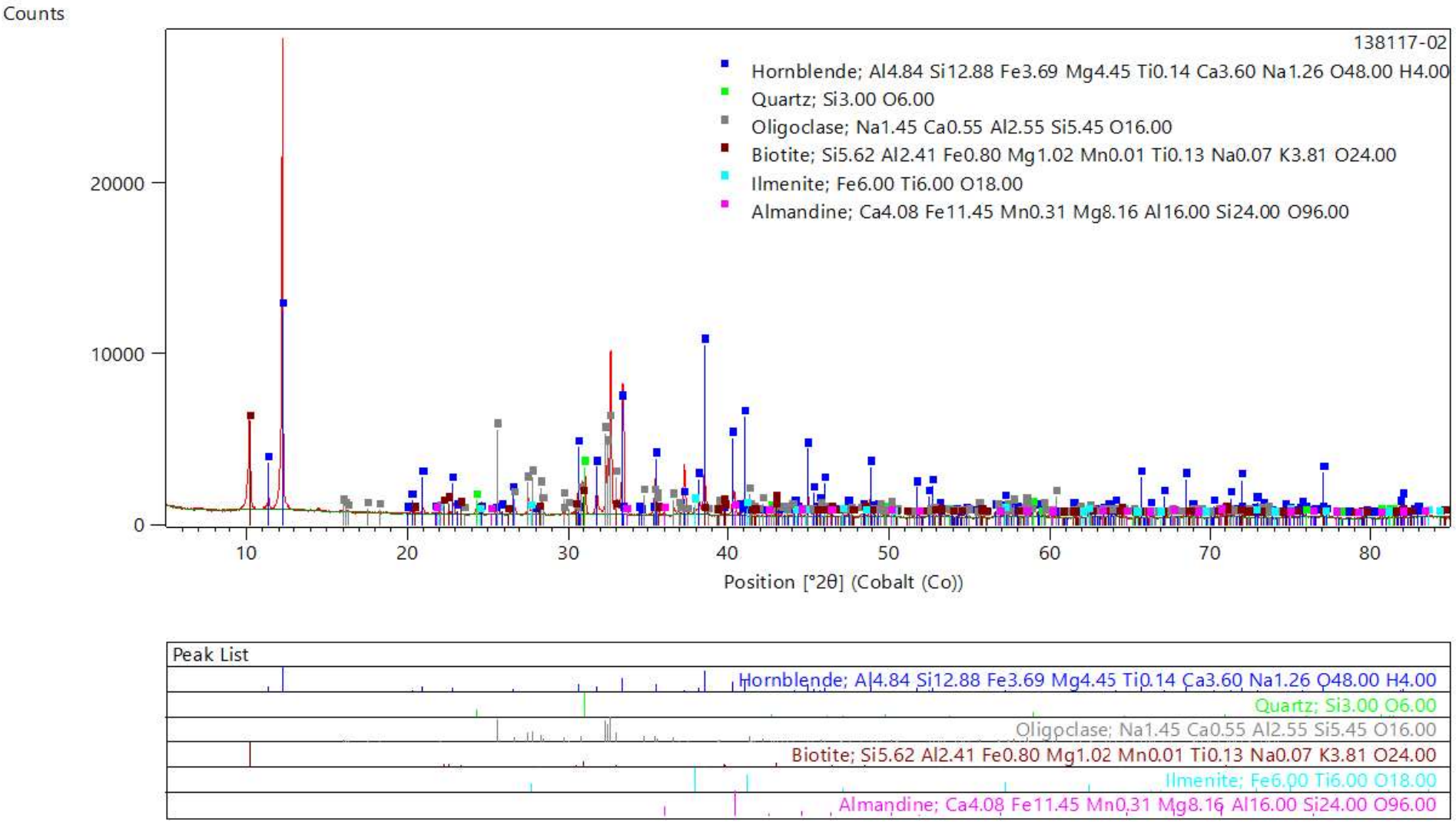
Directrice exécutive – Opérations

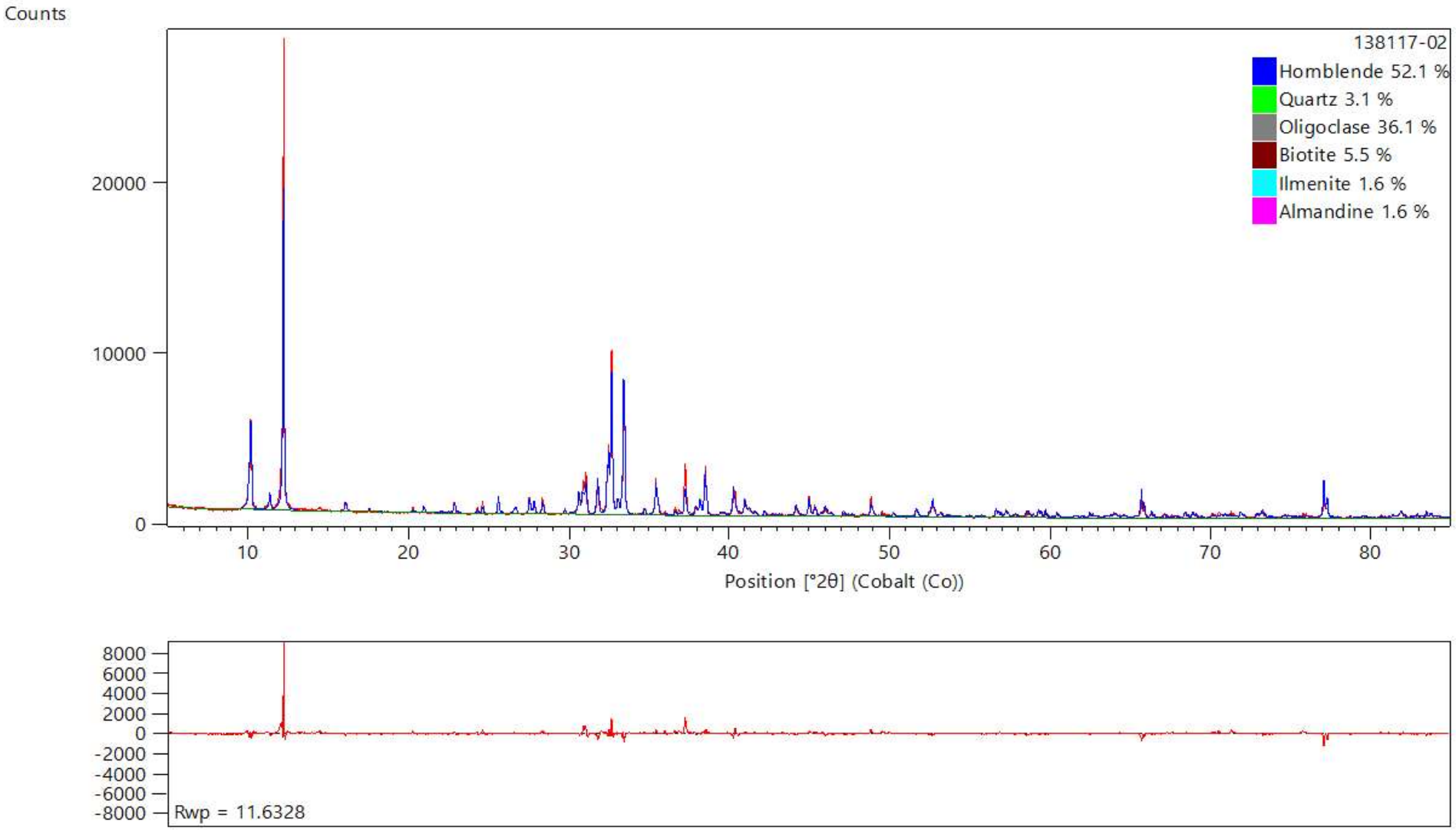
Sylvie Lévesque, M. Sc., géo

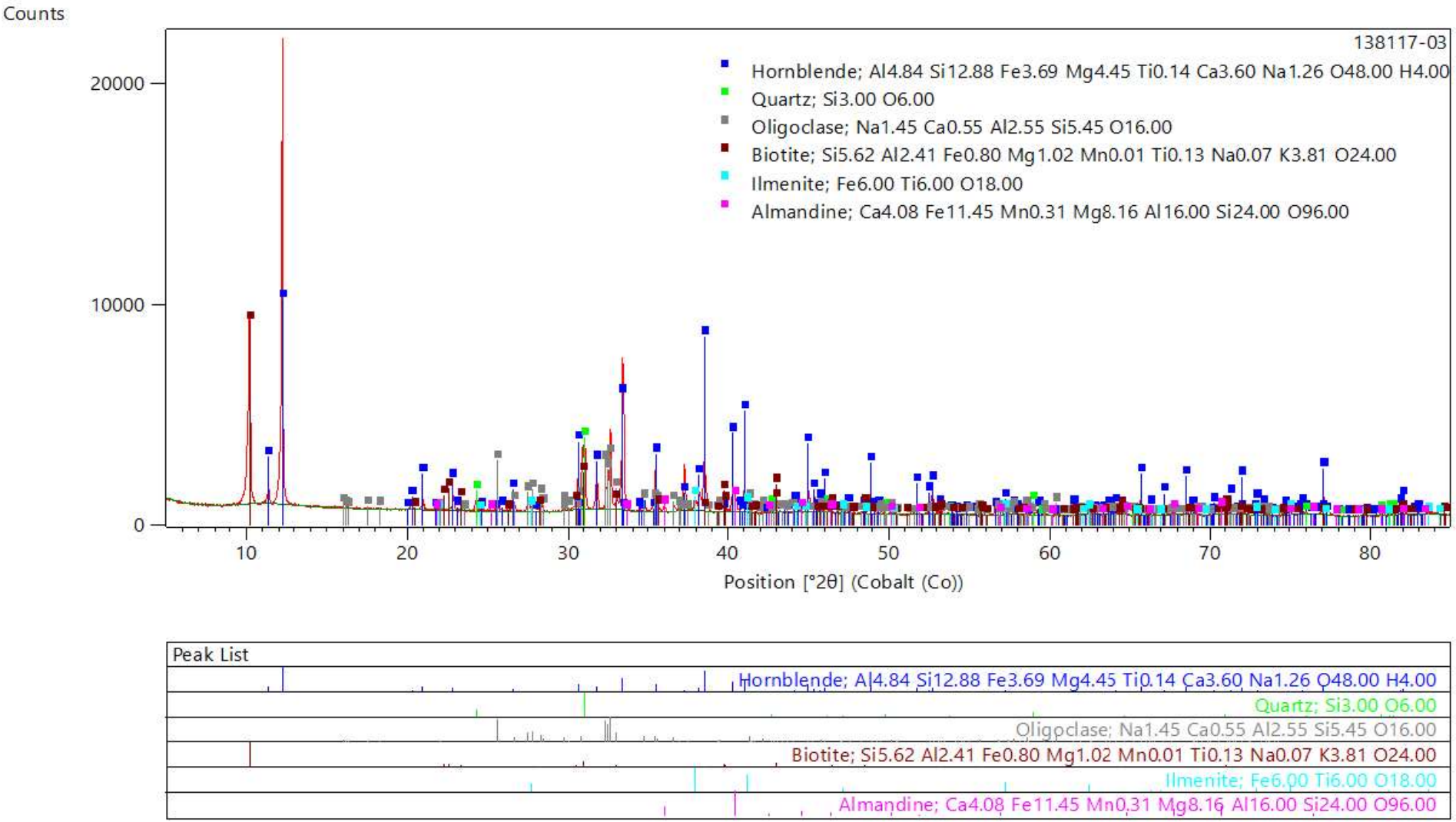
Corem
1180, rue de la Minéralogie, Québec (Québec) G1N 1X7 Canada
☎ **(418) 527-8211** • **(418) 527-9188**

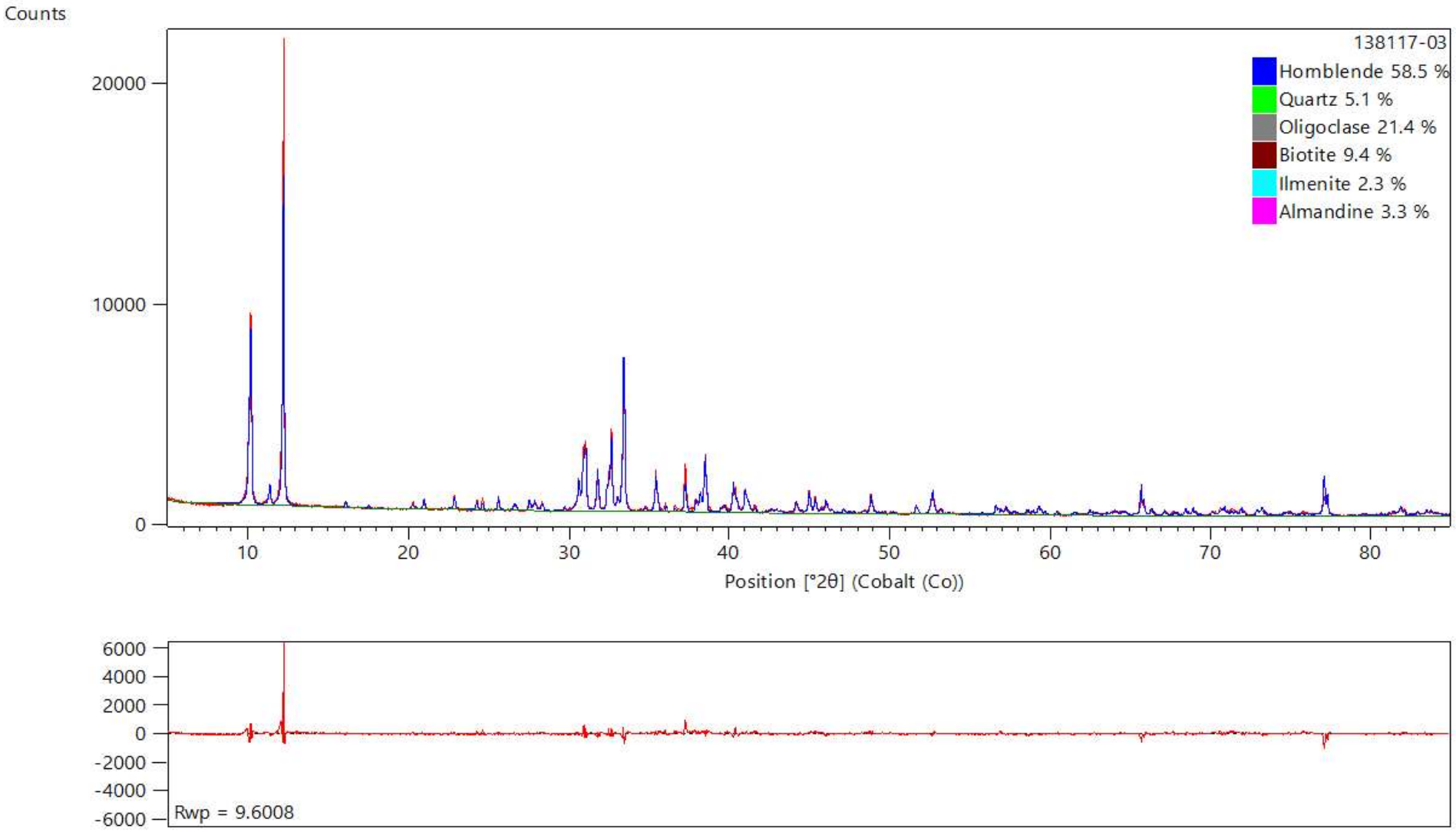

Counts
138117-01
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Chamosite; Mg2.52 Fe2.48 Al1.20 Si3.80 O18.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Chamosite; Mg2.52 Fe2.48 Al1.20 Si3.80 O18.00

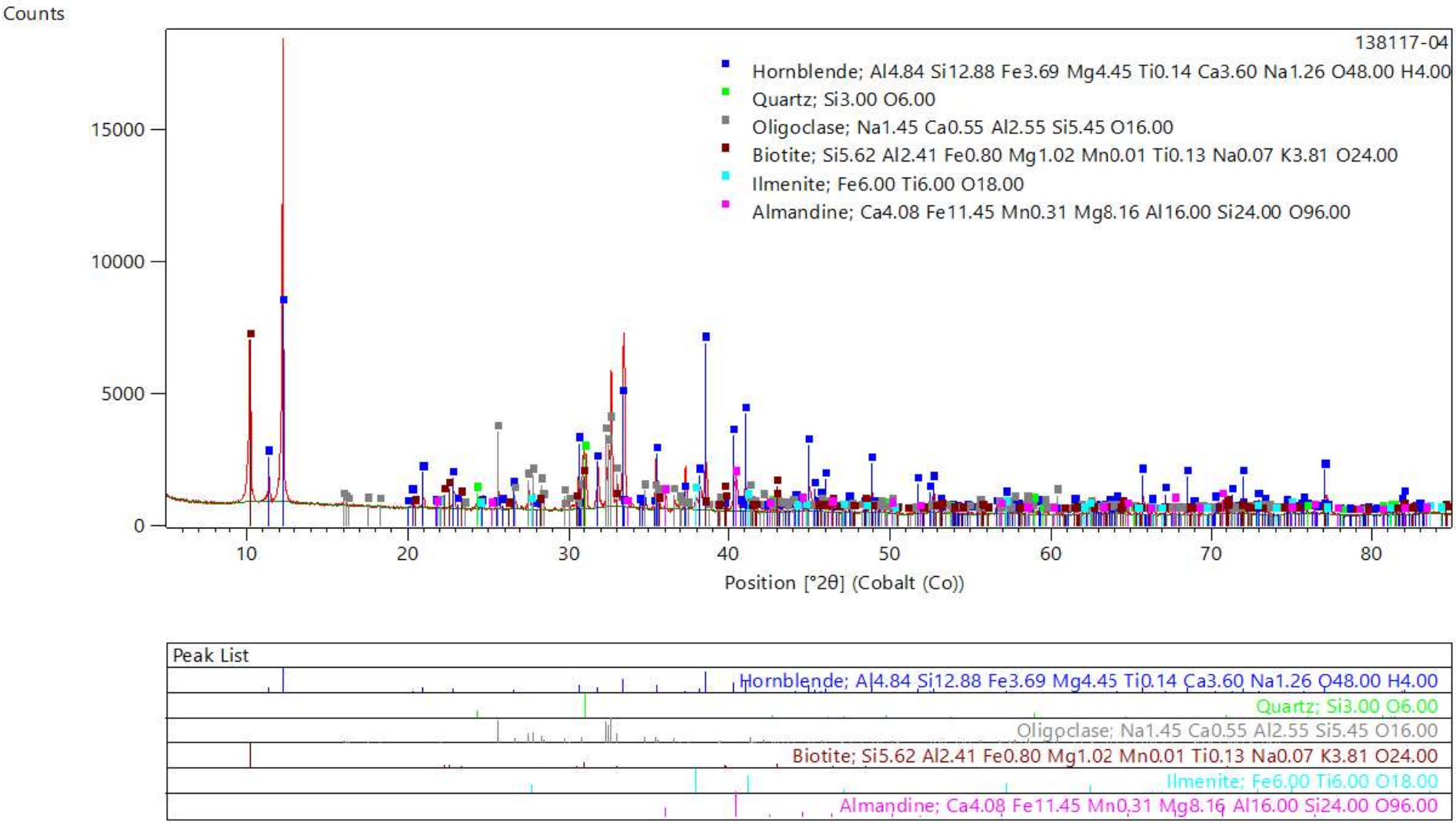

Counts
138117-01
Hornblende 60.8 %
Ilmenite 2.5 %
Oligoclase 26.3 %
Quartz 0.9 %
Biotite 6.1 %
Almandine 2.7 %
Chamosite 0.6 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
Rwp = 11.5693

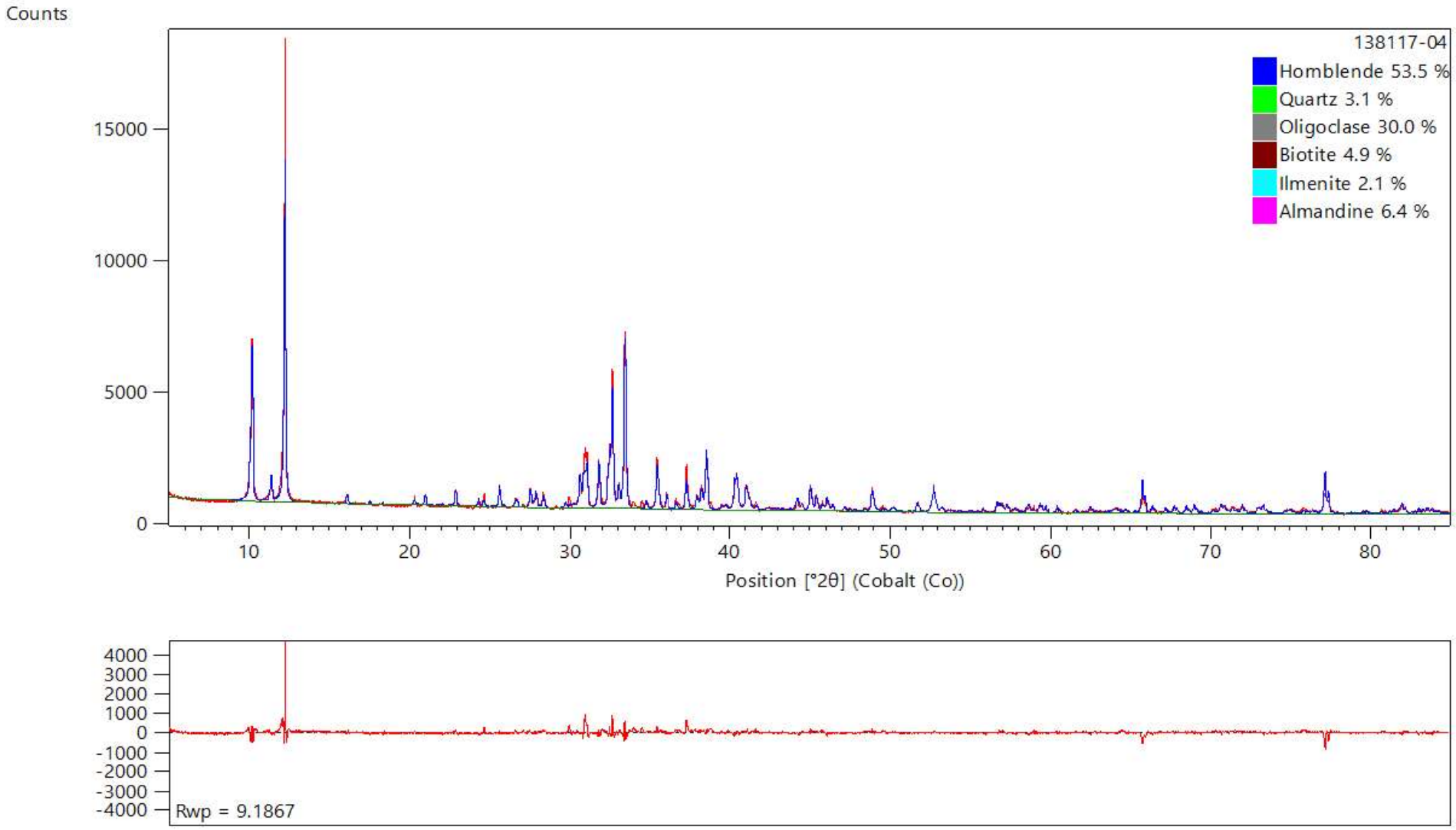

Counts
138117-02
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00

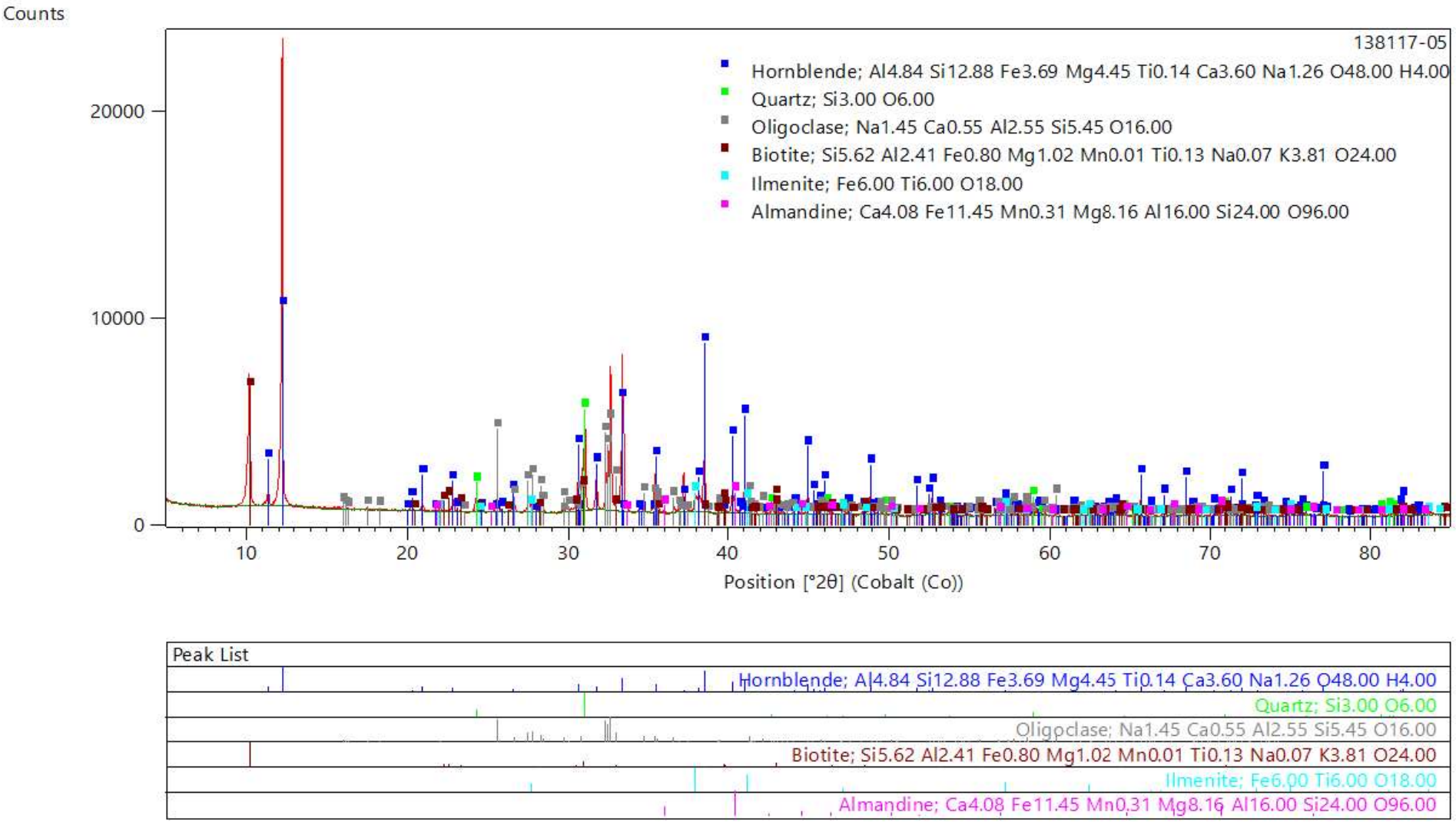

Counts
138117-02
Hornblende 52.1 %
Quartz 3.1 %
Oligoclase 36.1 %
Biotite 5.5 %
Ilmenite 1.6 %
Almandine 1.6 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
8000
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
-8000
Rwp = 11.6328

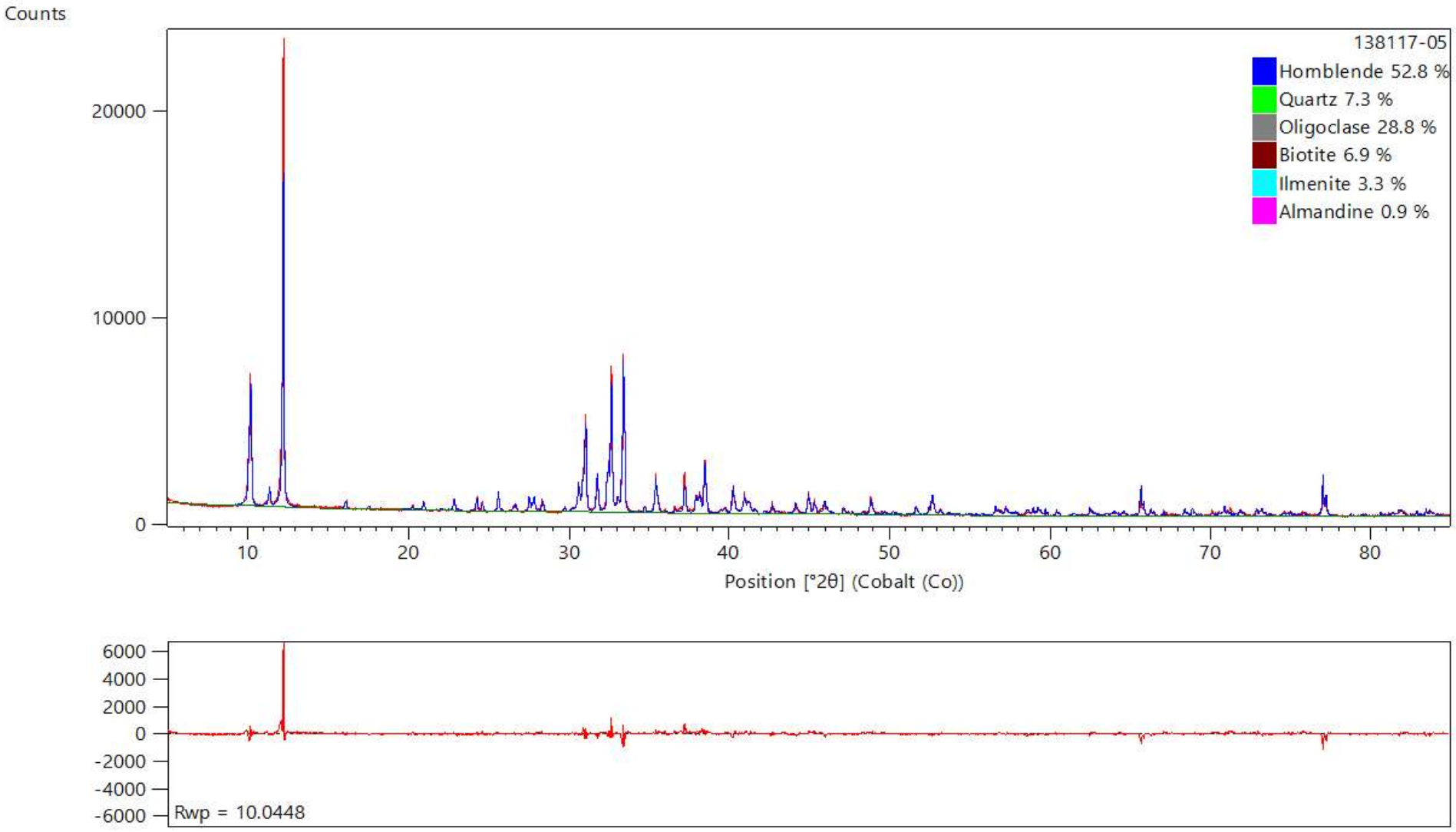

Counts
138117-03
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00

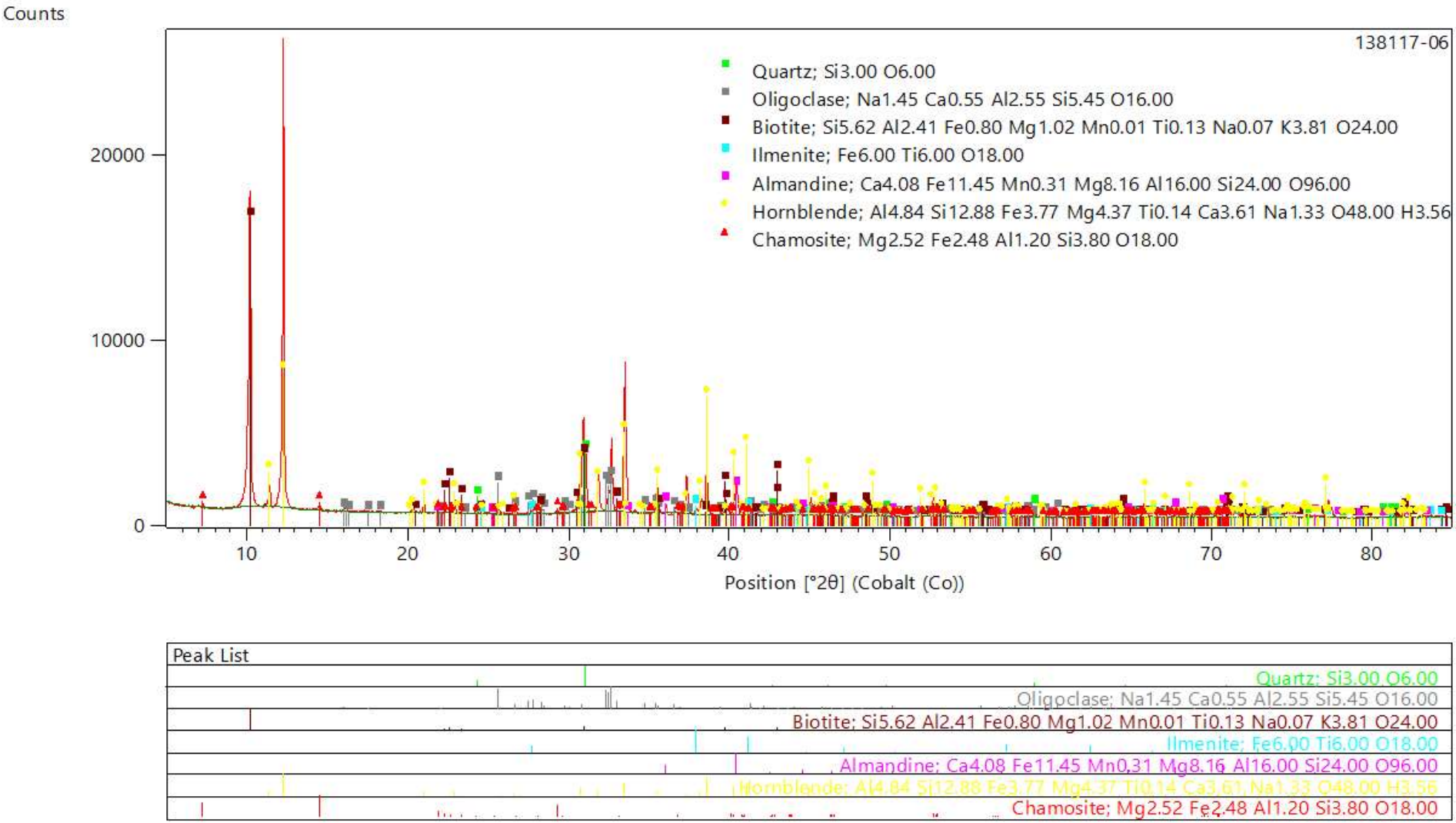

Counts
138117-03
Hornblende 58.5 %
Quartz 5.1 %
Oligoclase 21.4 %
Biotite 9.4 %
Ilmenite 2.3 %
Almandine 3.3 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
Rwp = 9.6008

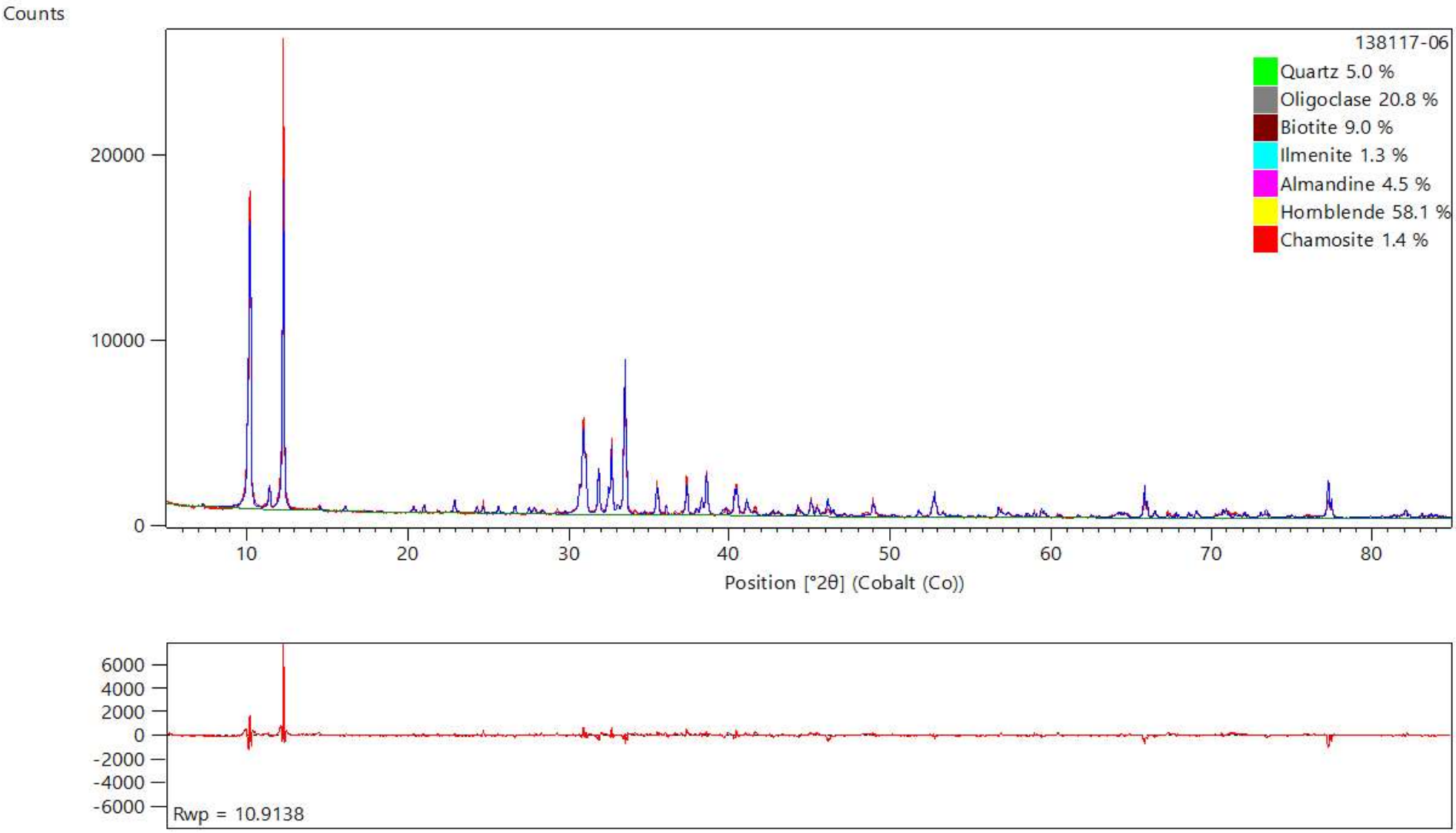

Counts
138117-04
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
15000
10000
5000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00

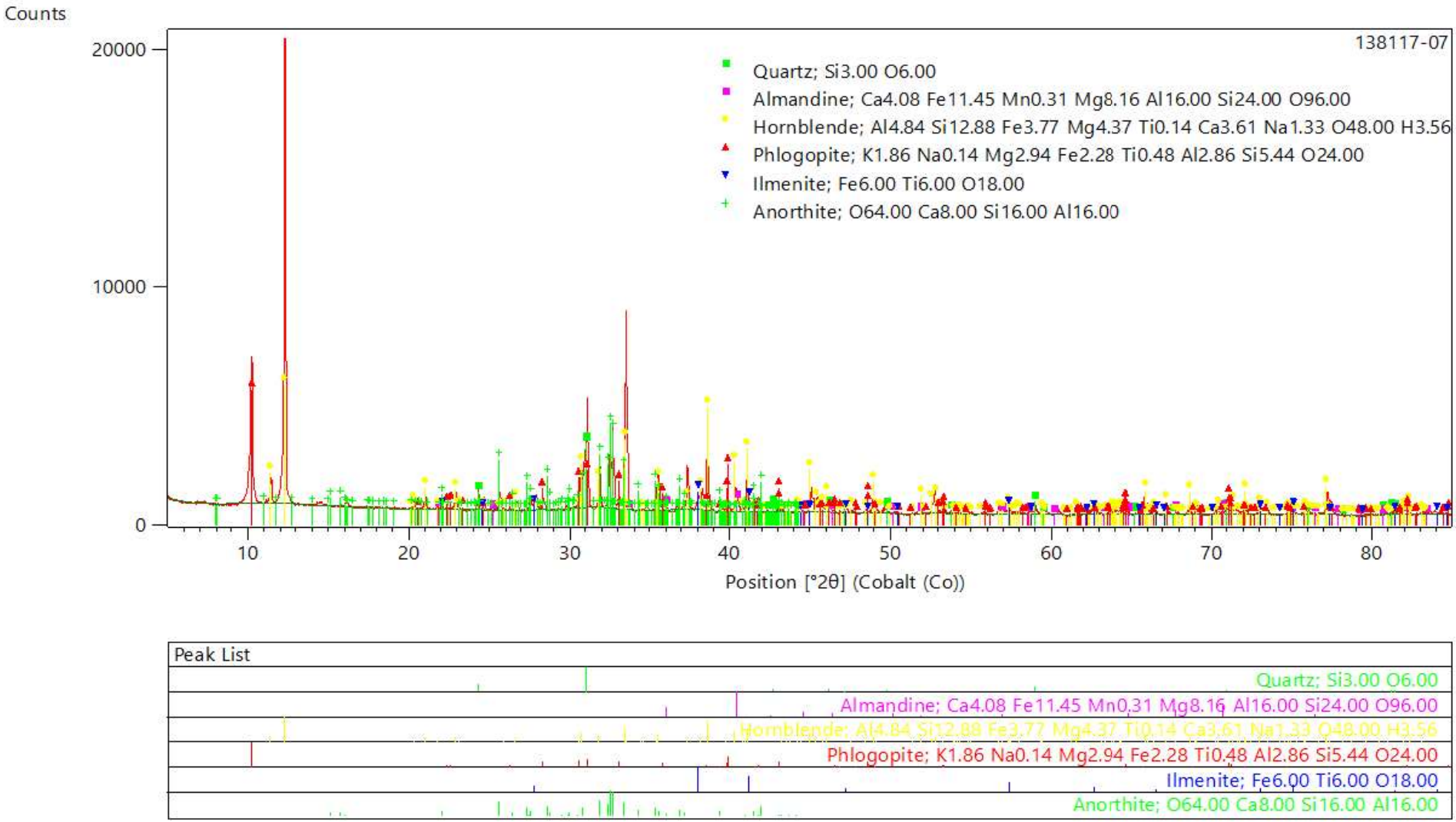

Counts
138117-04
Hornblende 53.5 %
Quartz 3.1 %
Oligoclase 30.0 %
Biotite 4.9 %
Ilmenite 2.1 %
Almandine 6.4 %
15000
10000
5000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
4000
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
Rwp = 9.1867

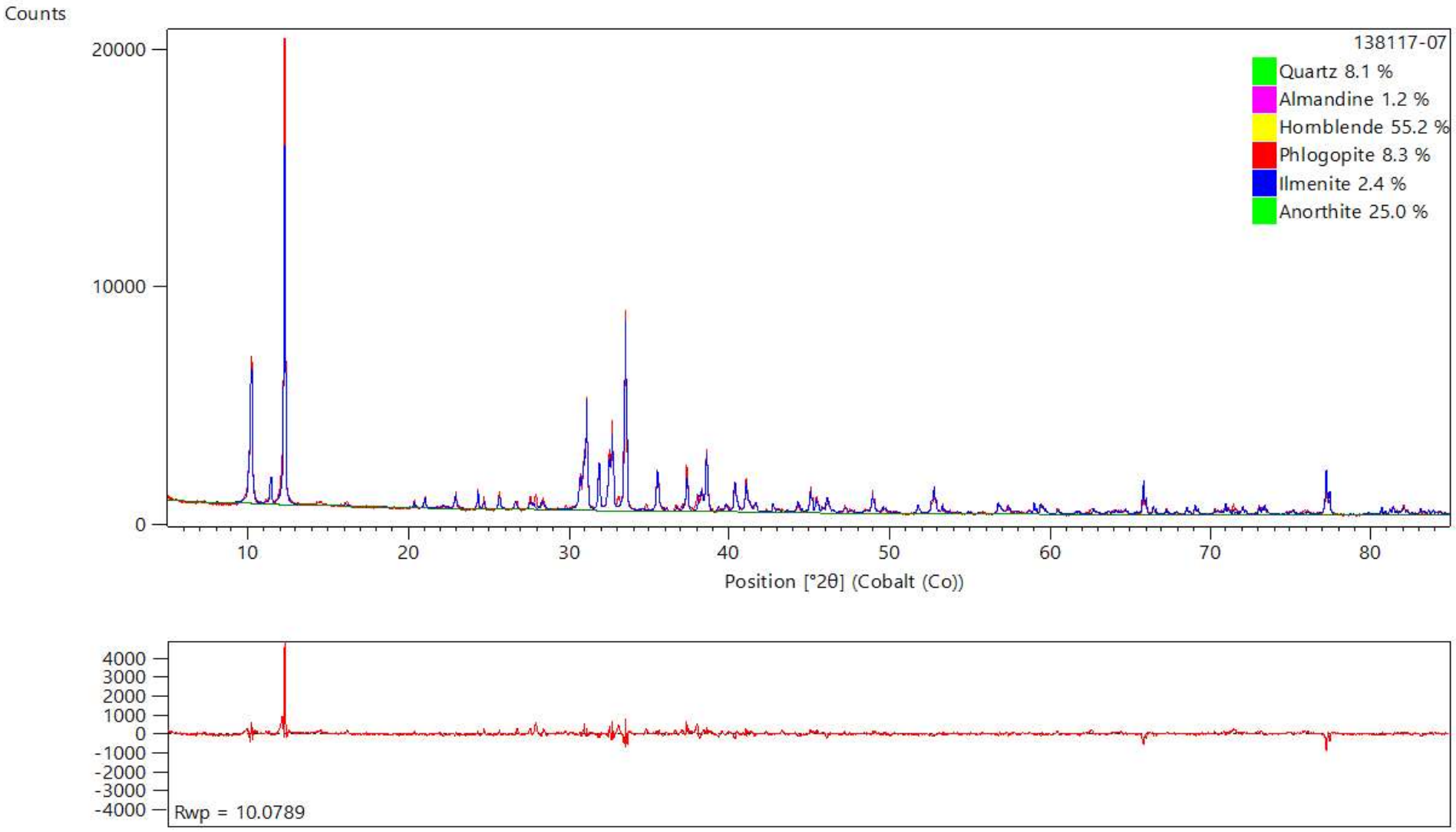

Counts
138117-05
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00


Counts
138117-05
Hornblende 52.8 %
Quartz 7.3 %
Oligoclase 28.8 %
Biotite 6.9 %
Ilmenite 3.3 %
Almandine 0.9 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
Rwp = 10.0448

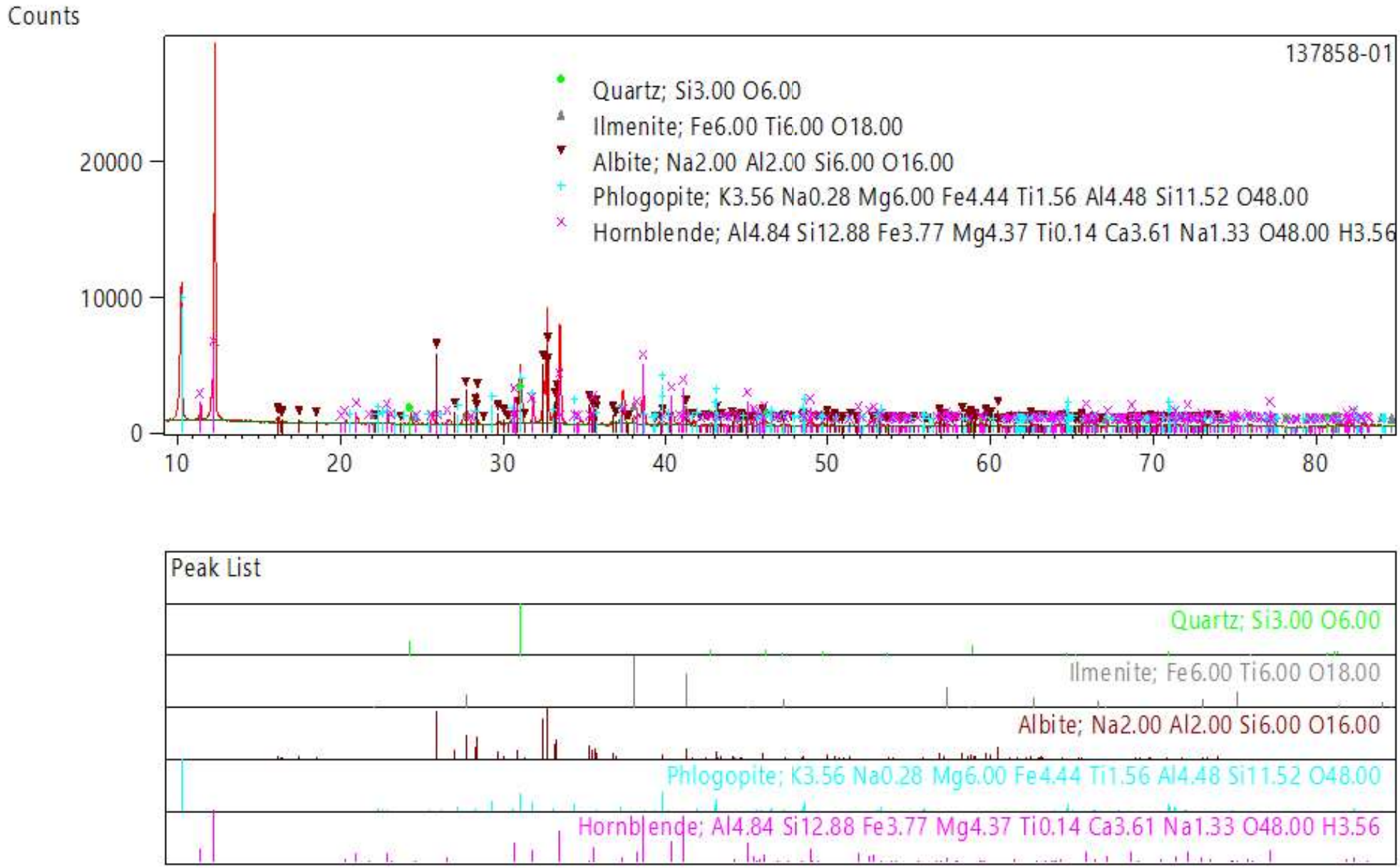

Counts
138117-06
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Chamosite; Mg2.52 Fe2.48 Al1.20 Si3.80 O18.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Chamosite; Mg2.52 Fe2.48 Al1.20 Si3.80 O18.00

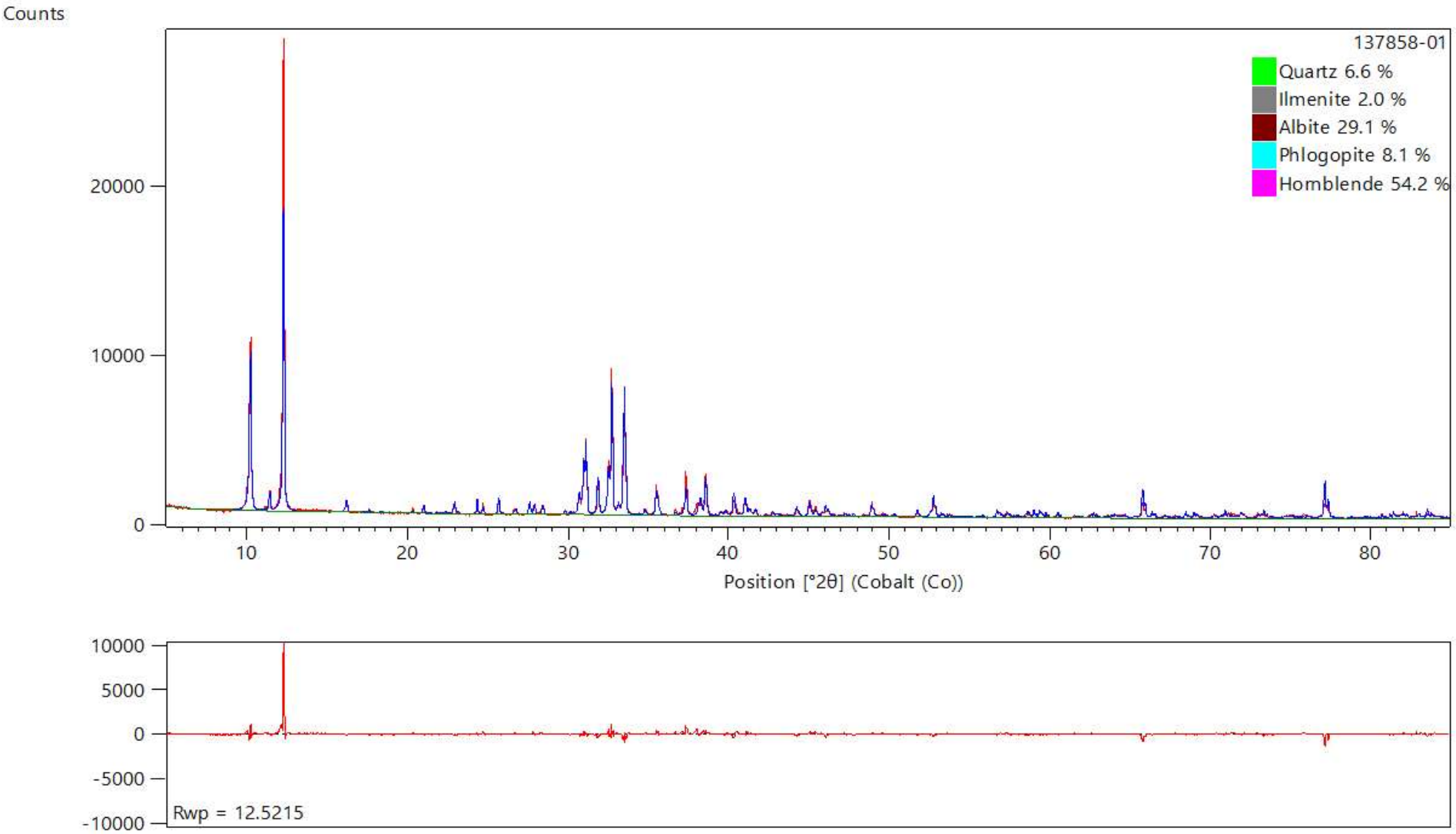

Counts
138117-06
Quartz 5.0 %
Oligoclase 20.8 %
Biotite 9.0 %
Ilmenite 1.3 %
Almandine 4.5 %
Hornblende 58.1 %
Chamosite 1.4 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
Rwp = 10.9138

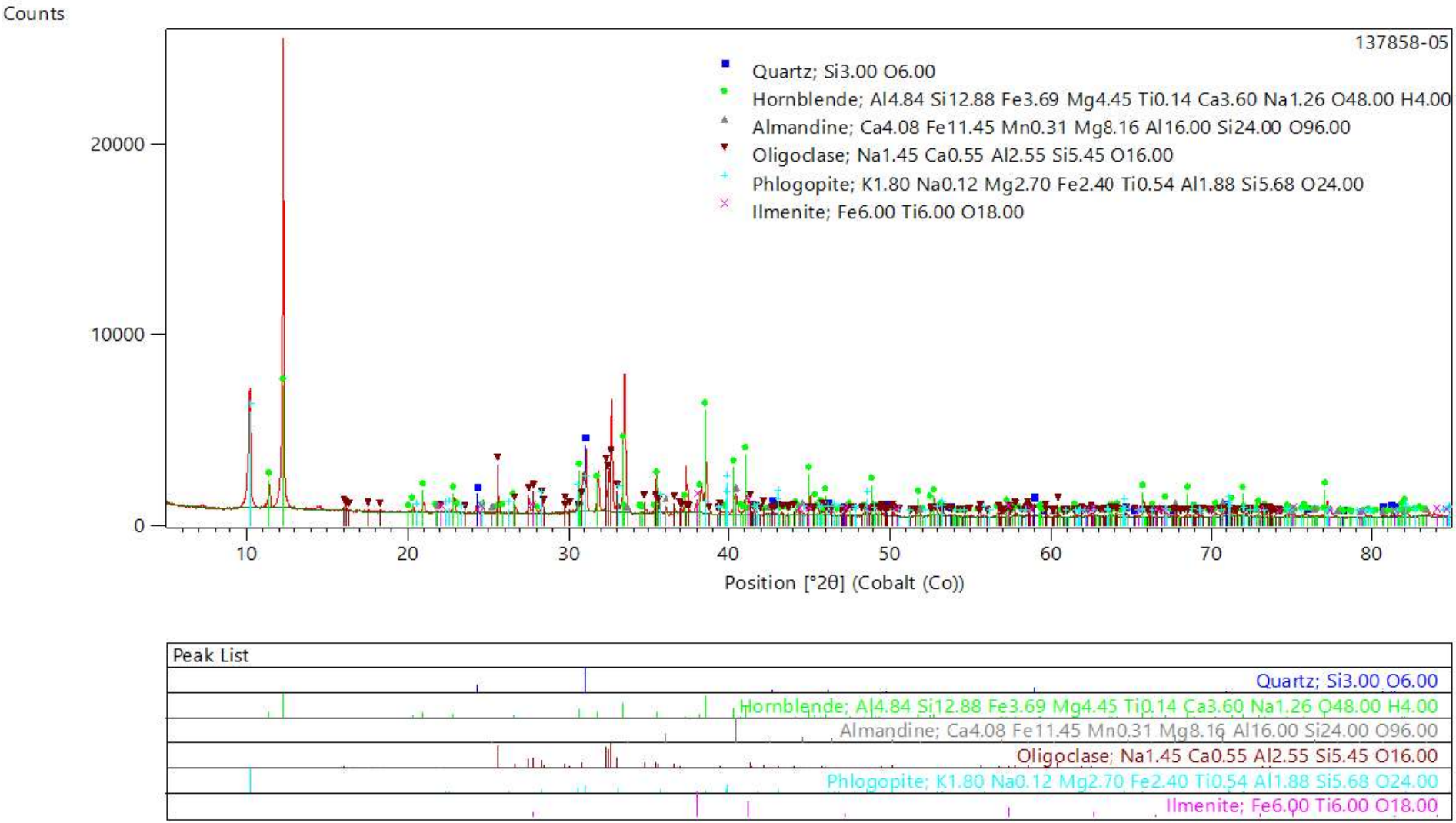

Counts
138117-07
Quartz; Si3.00 O6.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Phlogopite; K1.86 Na0.14 Mg2.94 Fe2.28 Ti0.48 Al2.86 Si5.44 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Anorthite; O64.00 Ca8.00 Si16.00 Al16.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Quartz; Si3.00 O6.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Phlogopite; K1.86 Na0.14 Mg2.94 Fe2.28 Ti0.48 Al2.86 Si5.44 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Anorthite; O64.00 Ca8.00 Si16.00 Al16.00

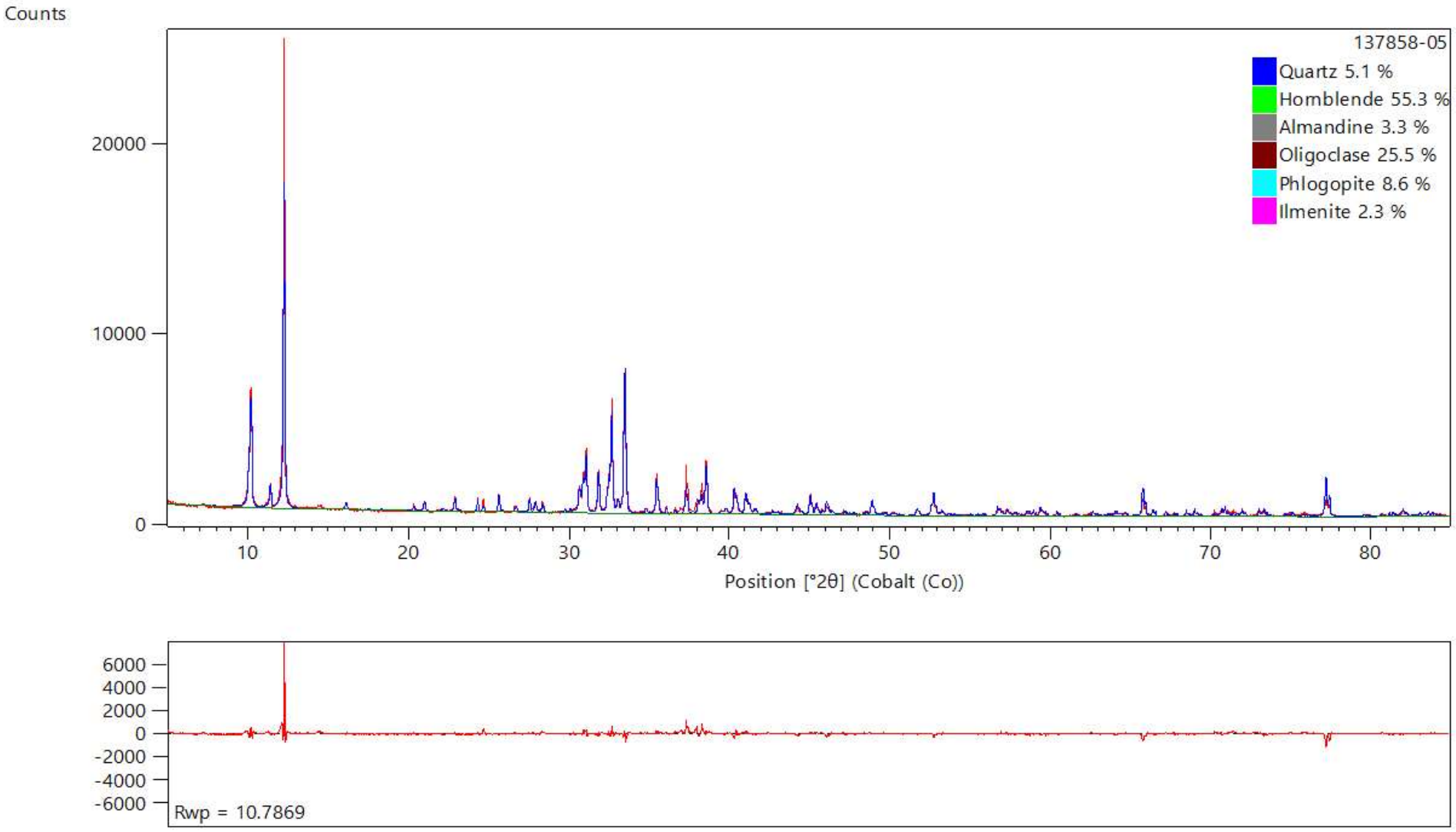

Counts
20000
10000
0
138117-07
Quartz 8.1 %
Almandine 1.2 %
Hornblende 55.2 %
Phlogopite 8.3 %
Ilmenite 2.4 %
Anorthite 25.0 %
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
4000
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
Rwp = 10.0789

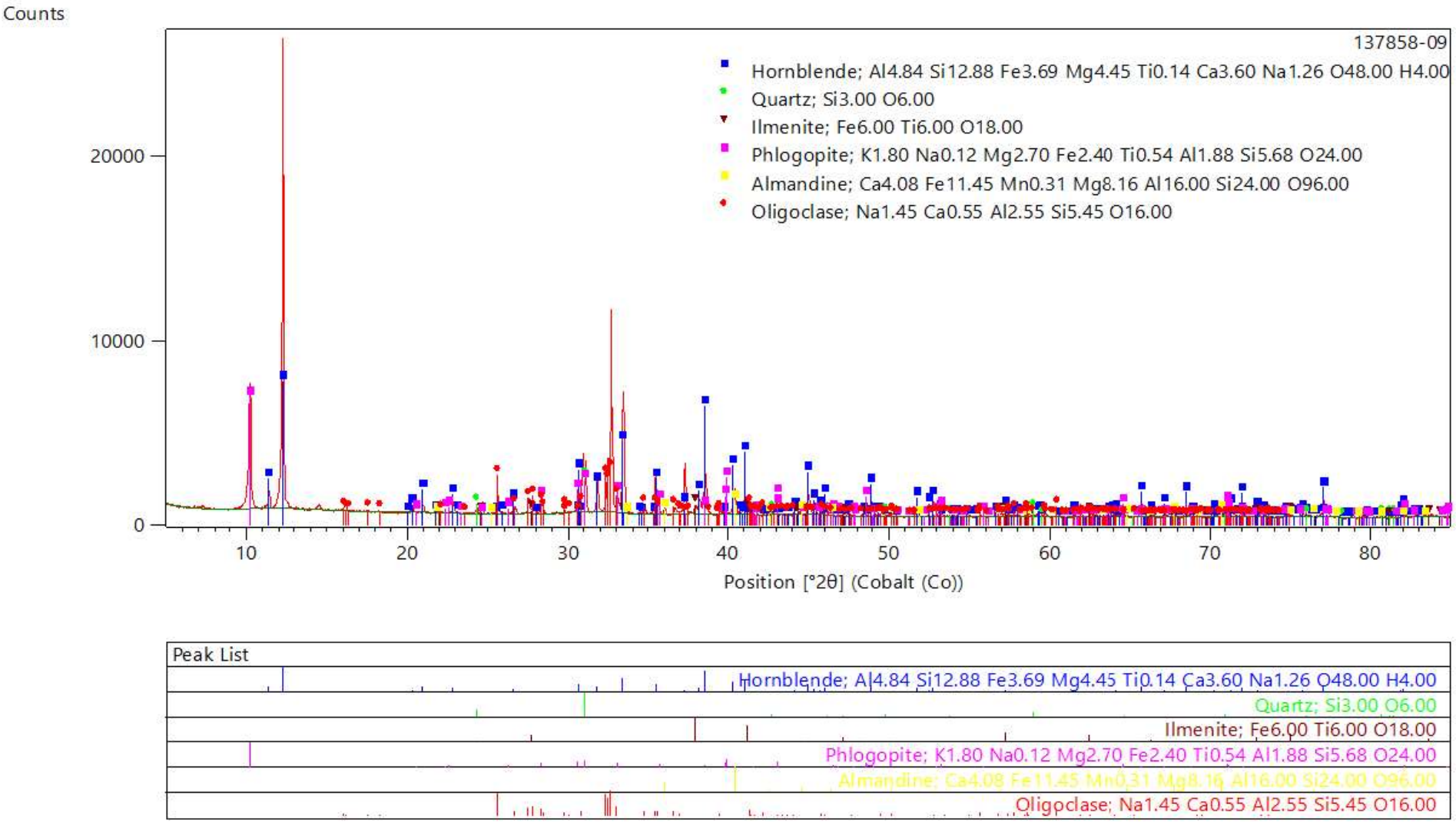
Date: 2022-09-13 Time: 10:01:58 File: 137858-01

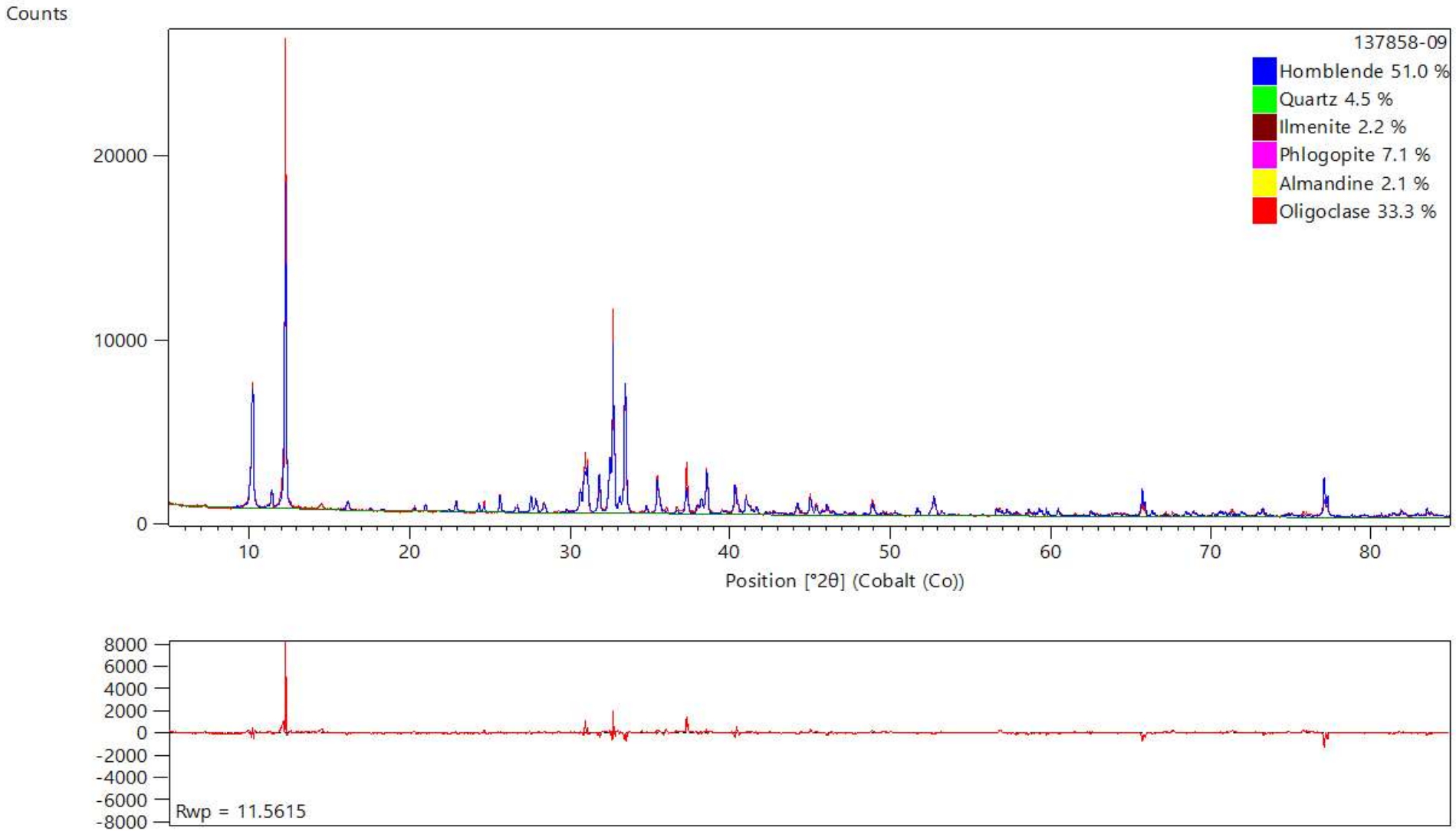


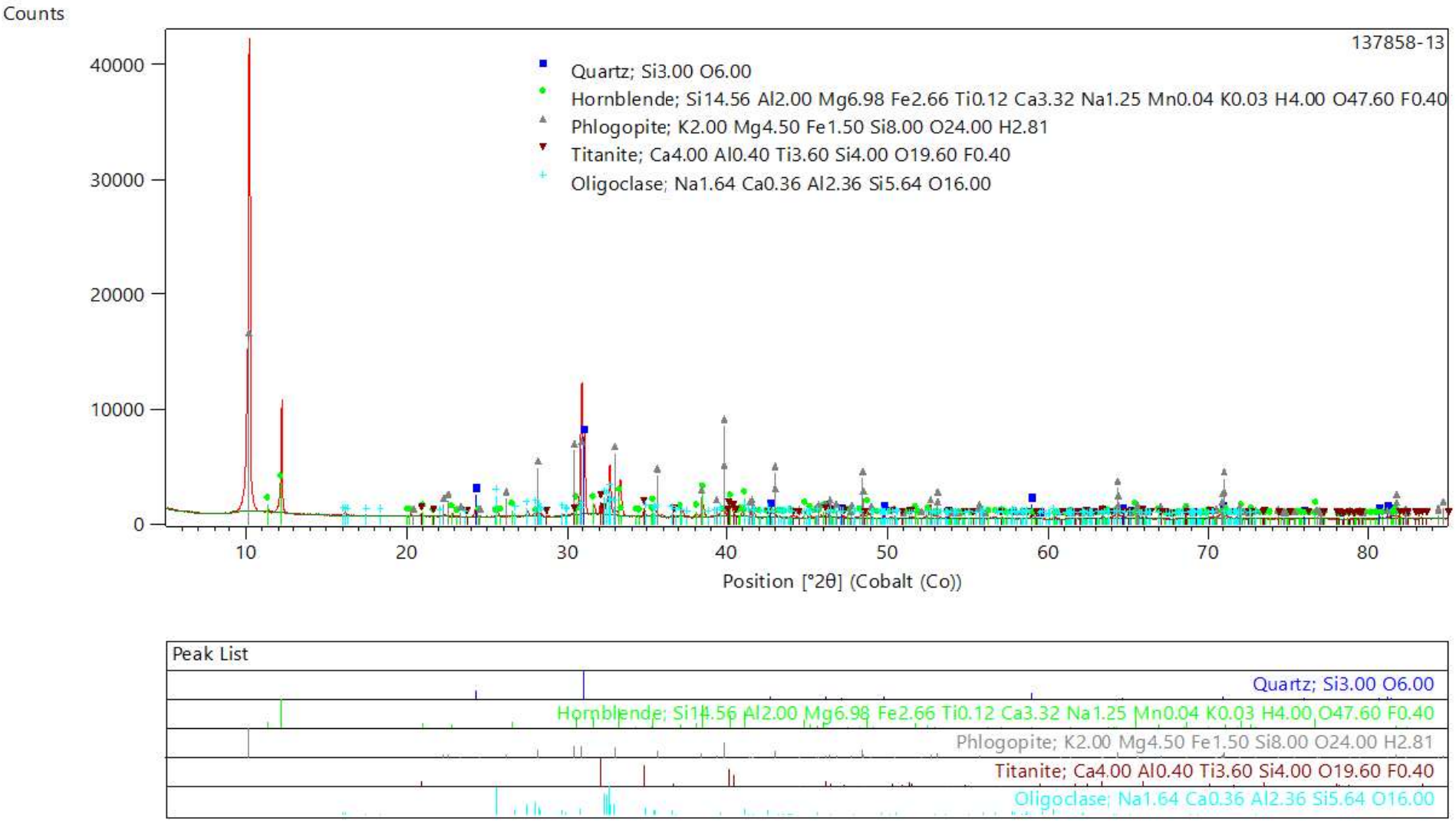

Counts
137858-01
Quartz 6.6 %
Ilmenite 2.0 %
Albite 29.1 %
Phlogopite 8.1 %
Hornblende 54.2 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
10000
5000
0
-5000
-10000
Rwp = 12.5215

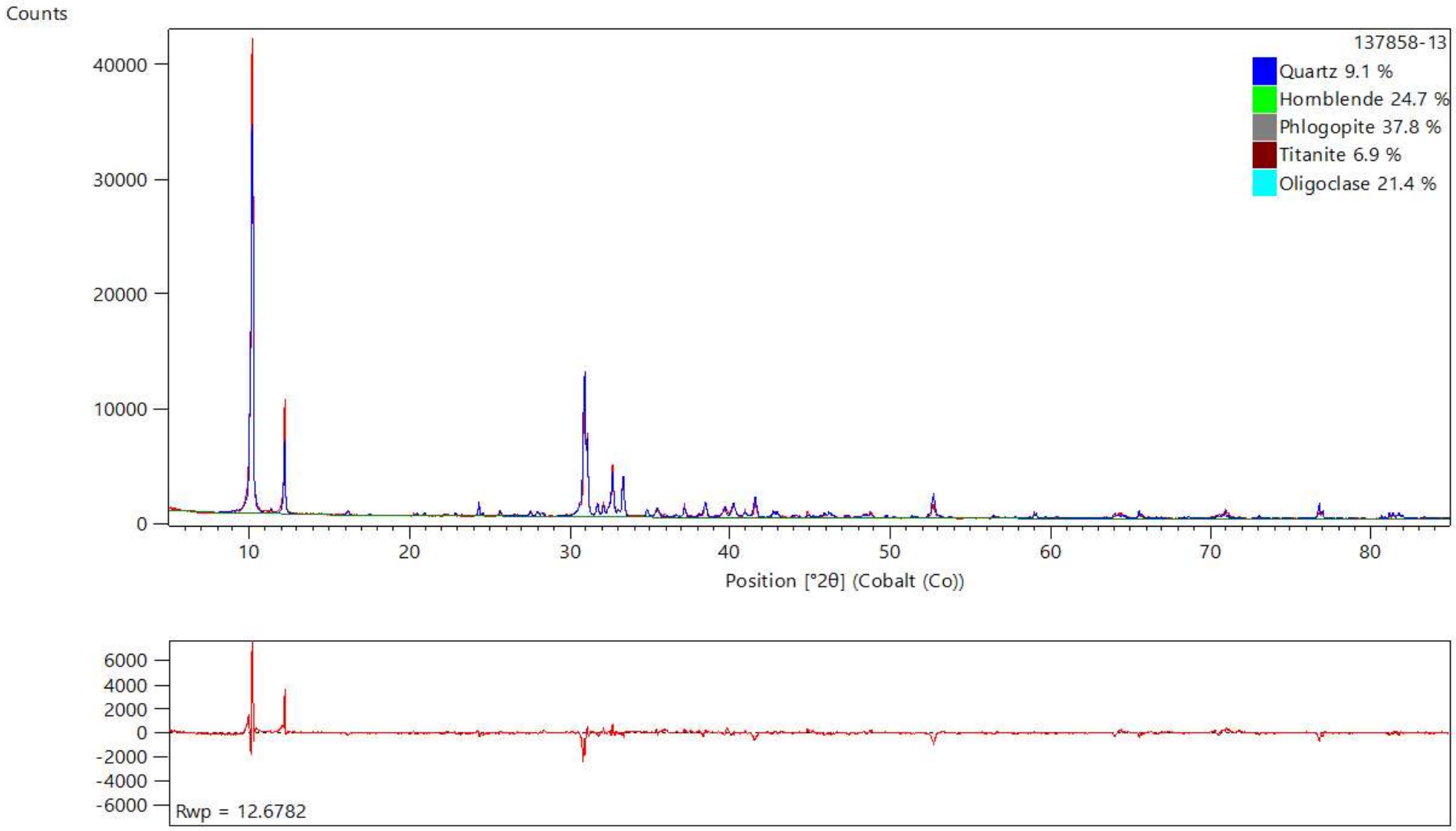

Counts
137858-05
Quartz; Si3.00 O6.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Phlogopite; K1.80 Na0.12 Mg2.70 Fe2.40 Ti0.54 Al1.88 Si5.68 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Quartz; Si3.00 O6.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Phlogopite; K1.80 Na0.12 Mg2.70 Fe2.40 Ti0.54 Al1.88 Si5.68 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00

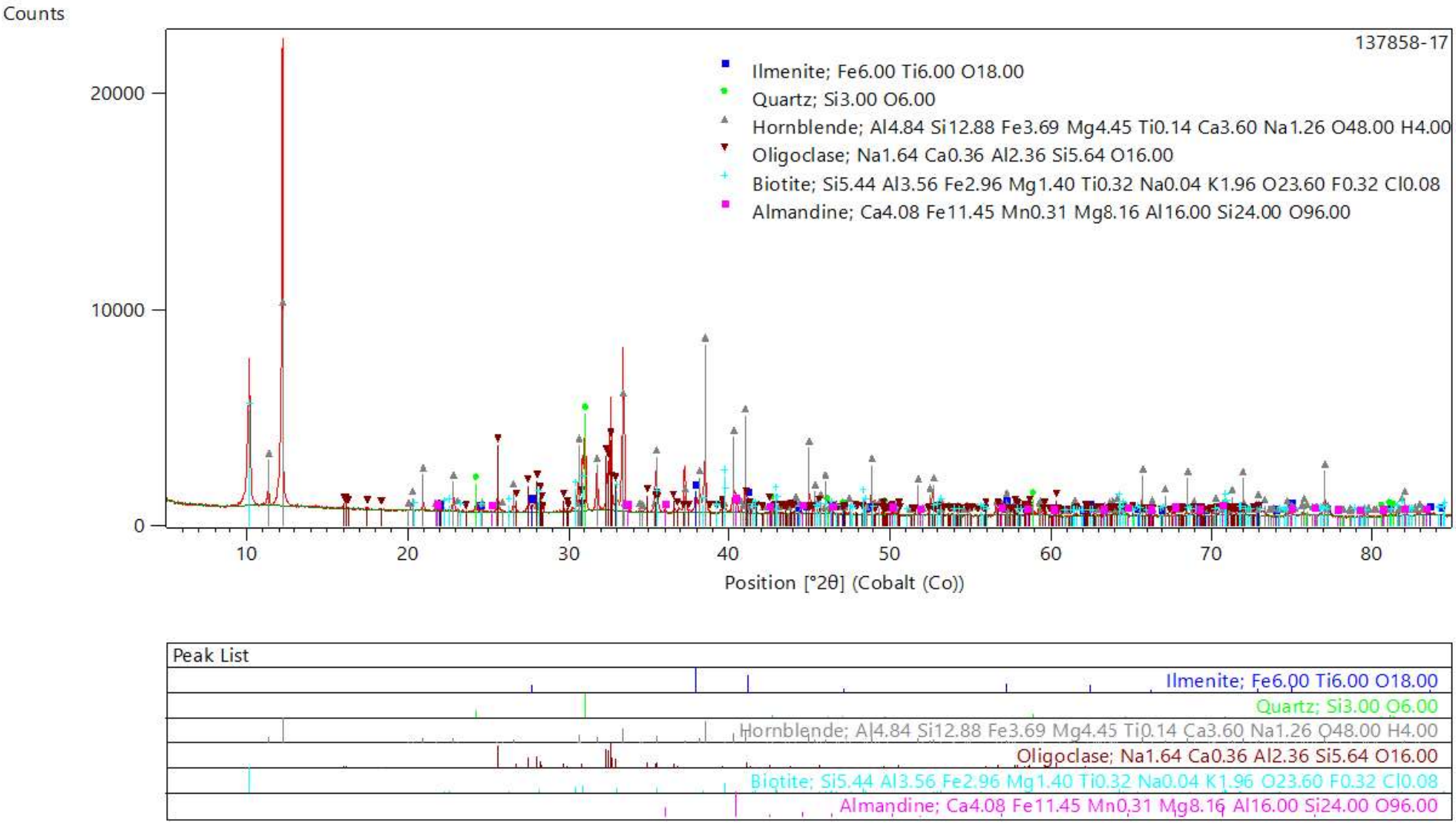

Counts
137858-05
Quartz 5.1 %
Hornblende 55.3 %
Almandine 3.3 %
Oligoclase 25.5 %
Phlogopite 8.6 %
Ilmenite 2.3 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
Rwp = 10.7869

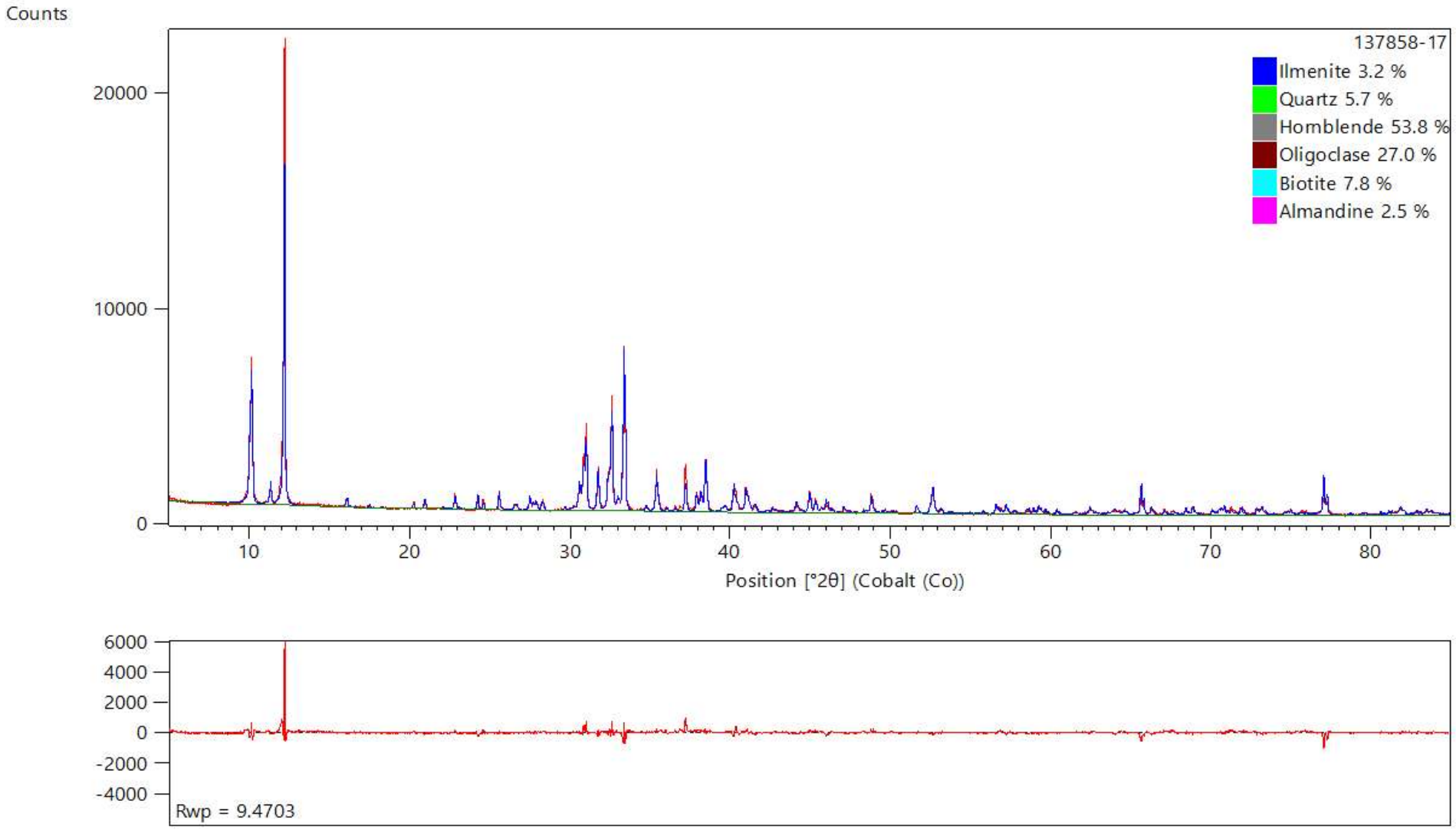

Counts
137858-09
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Phlogopite; K1.80 Na0.12 Mg2.70 Fe2.40 Ti0.54 Al1.88 Si5.68 O24.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Phlogopite; K1.80 Na0.12 Mg2.70 Fe2.40 Ti0.54 Al1.88 Si5.68 O24.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00

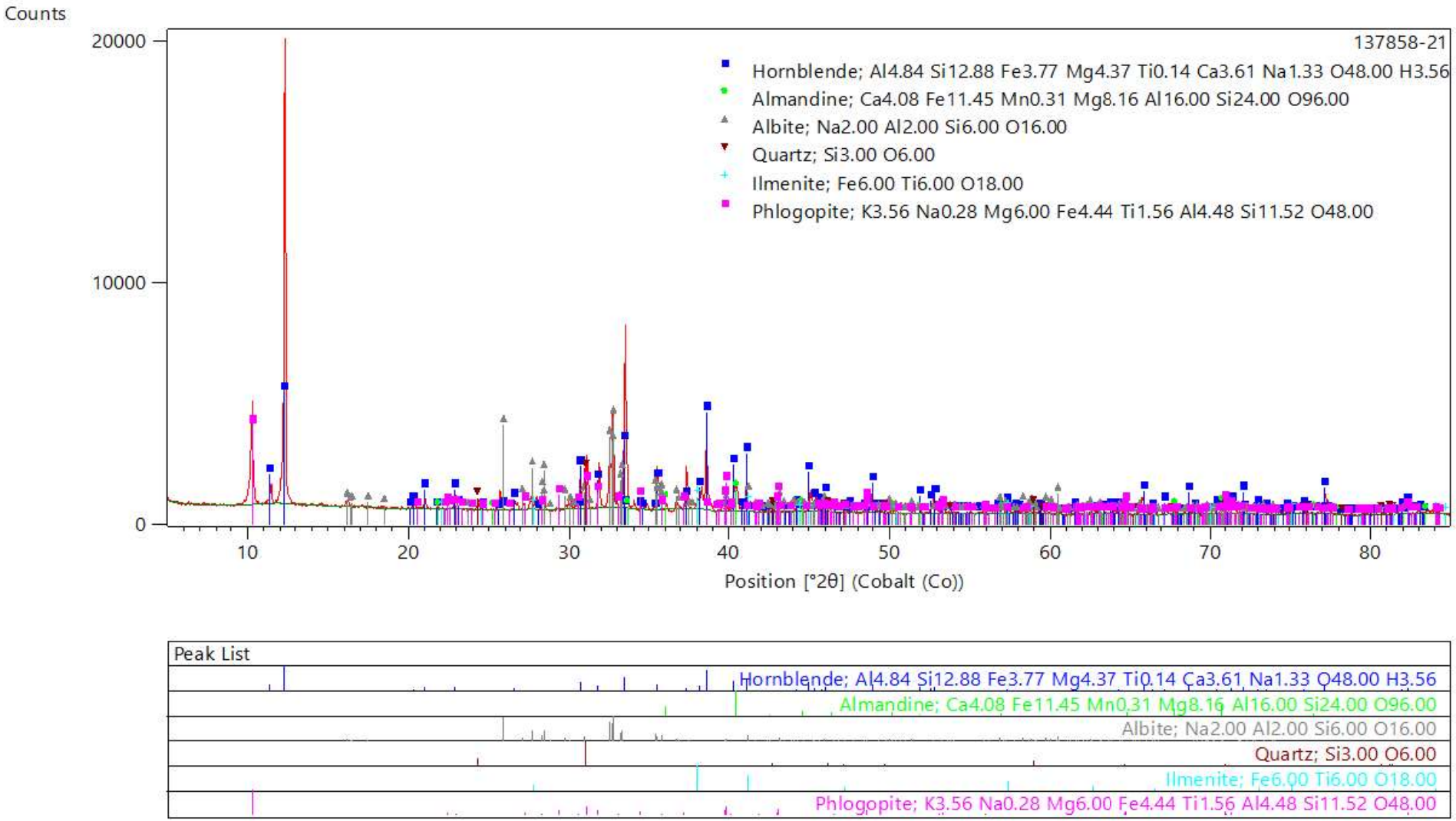

Counts
137858-09
Hornblende 51.0 %
Quartz 4.5 %
Ilmenite 2.2 %
Phlogopite 7.1 %
Almandine 2.1 %
Oligoclase 33.3 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
8000
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
-8000
Rwp = 11.5615

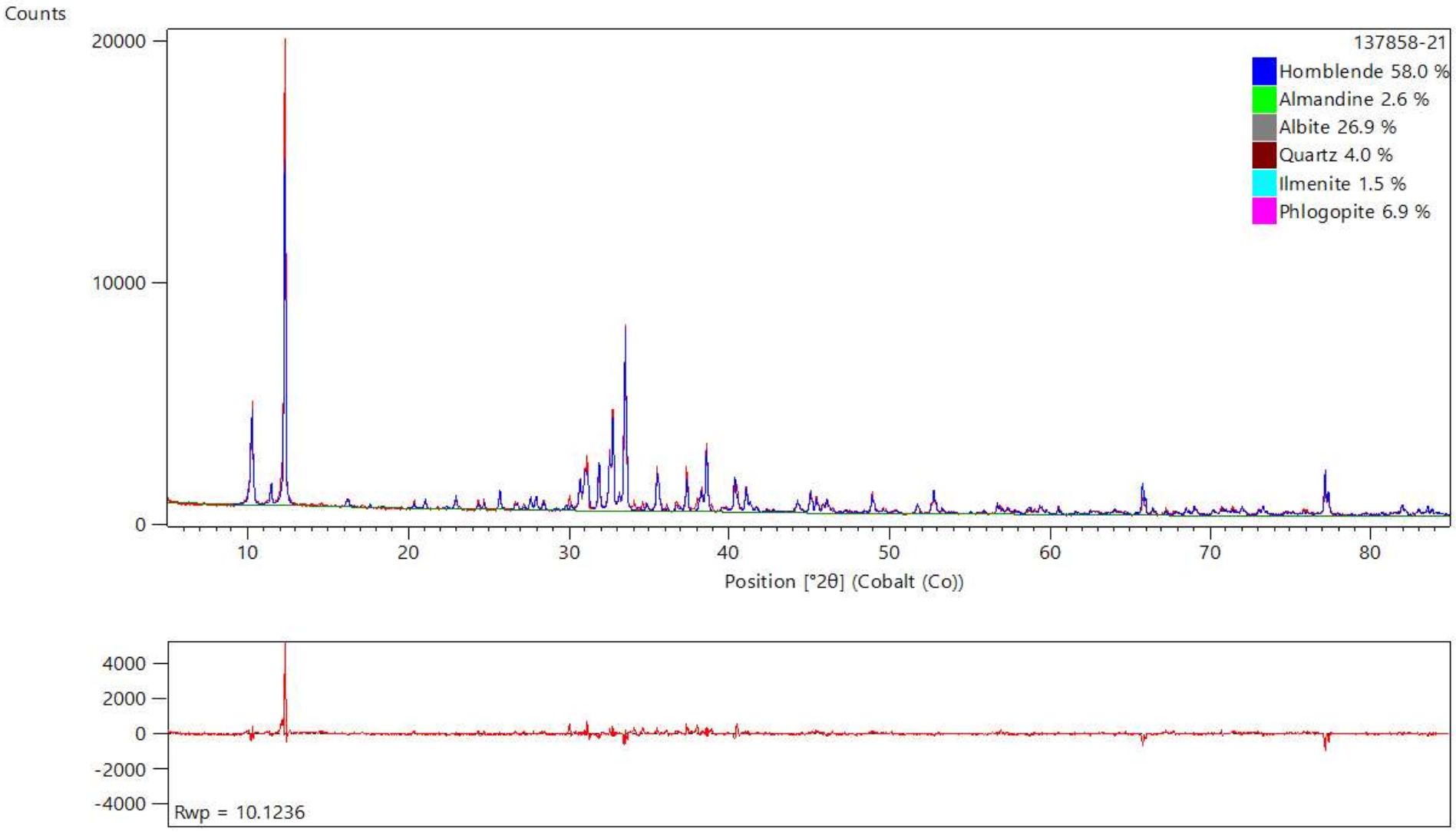

Counts
137858-13
Quartz; Si3.00 O6.00
Hornblende; Si14.56 Al2.00 Mg6.98 Fe2.66 Ti0.12 Ca3.32 Na1.25 Mn0.04 K0.03 H4.00 O47.60 F0.40
Phlogopite; K2.00 Mg4.50 Fe1.50 Si8.00 O24.00 H2.81
Titanite; Ca4.00 Al0.40 Ti3.60 Si4.00 O19.60 F0.40
Oligoclase; Na1.64 Ca0.36 Al2.36 Si5.64 O16.00
40000
30000
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Quartz; Si3.00 O6.00
Hornblende; Si14.56 Al2.00 Mg6.98 Fe2.66 Ti0.12 Ca3.32 Na1.25 Mn0.04 K0.03 H4.00 O47.60 F0.40
Phlogopite; K2.00 Mg4.50 Fe1.50 Si8.00 O24.00 H2.81
Titanite; Ca4.00 Al0.40 Ti3.60 Si4.00 O19.60 F0.40
Oligoclase; Na1.64 Ca0.36 Al2.36 Si5.64 O16.00

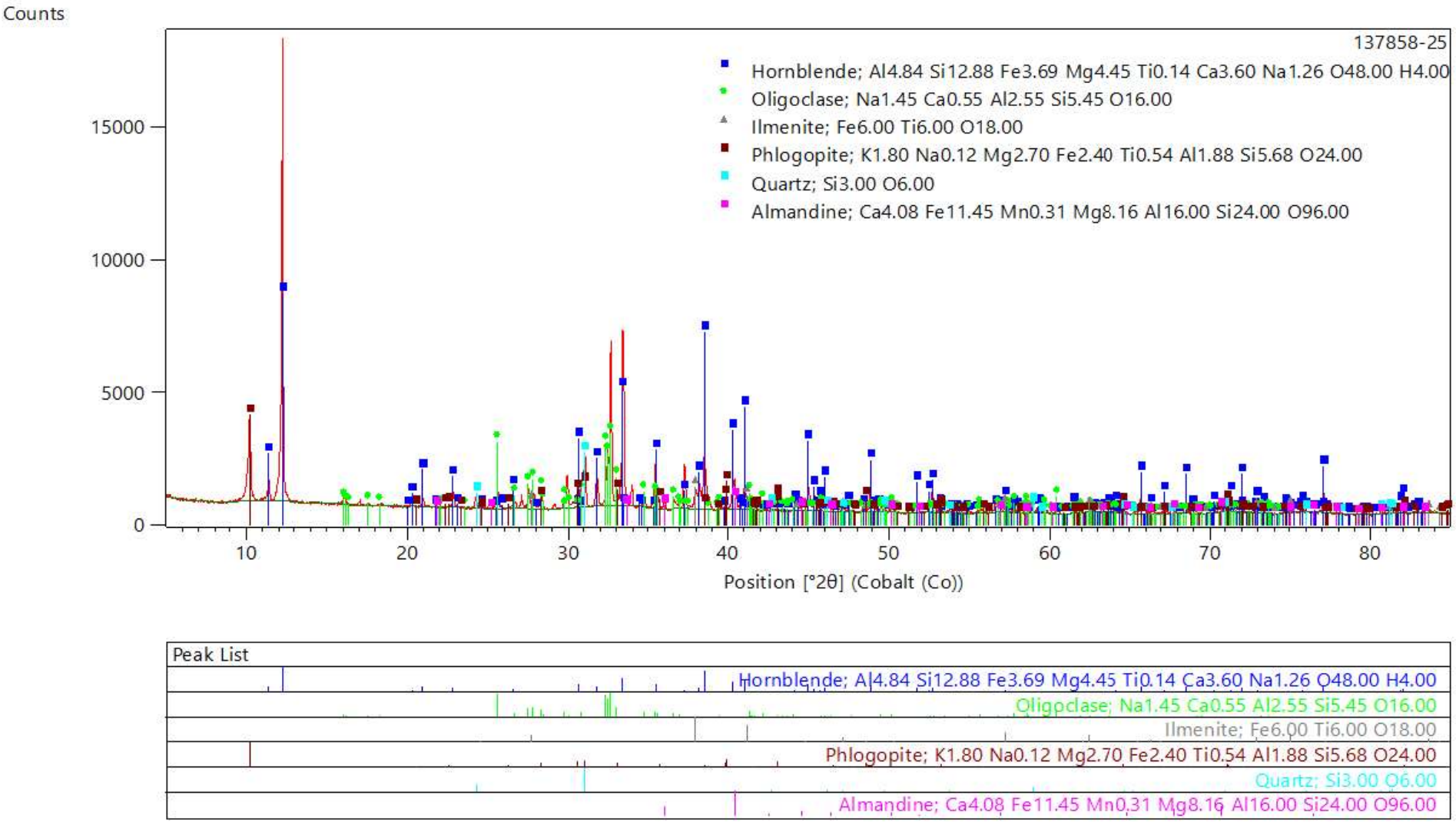

Counts
137858-13
Quartz 9.1 %
Hornblende 24.7 %
Phlogopite 37.8 %
Titanite 6.9 %
Oligoclase 21.4 %
40000
30000
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
Rwp = 12.6782

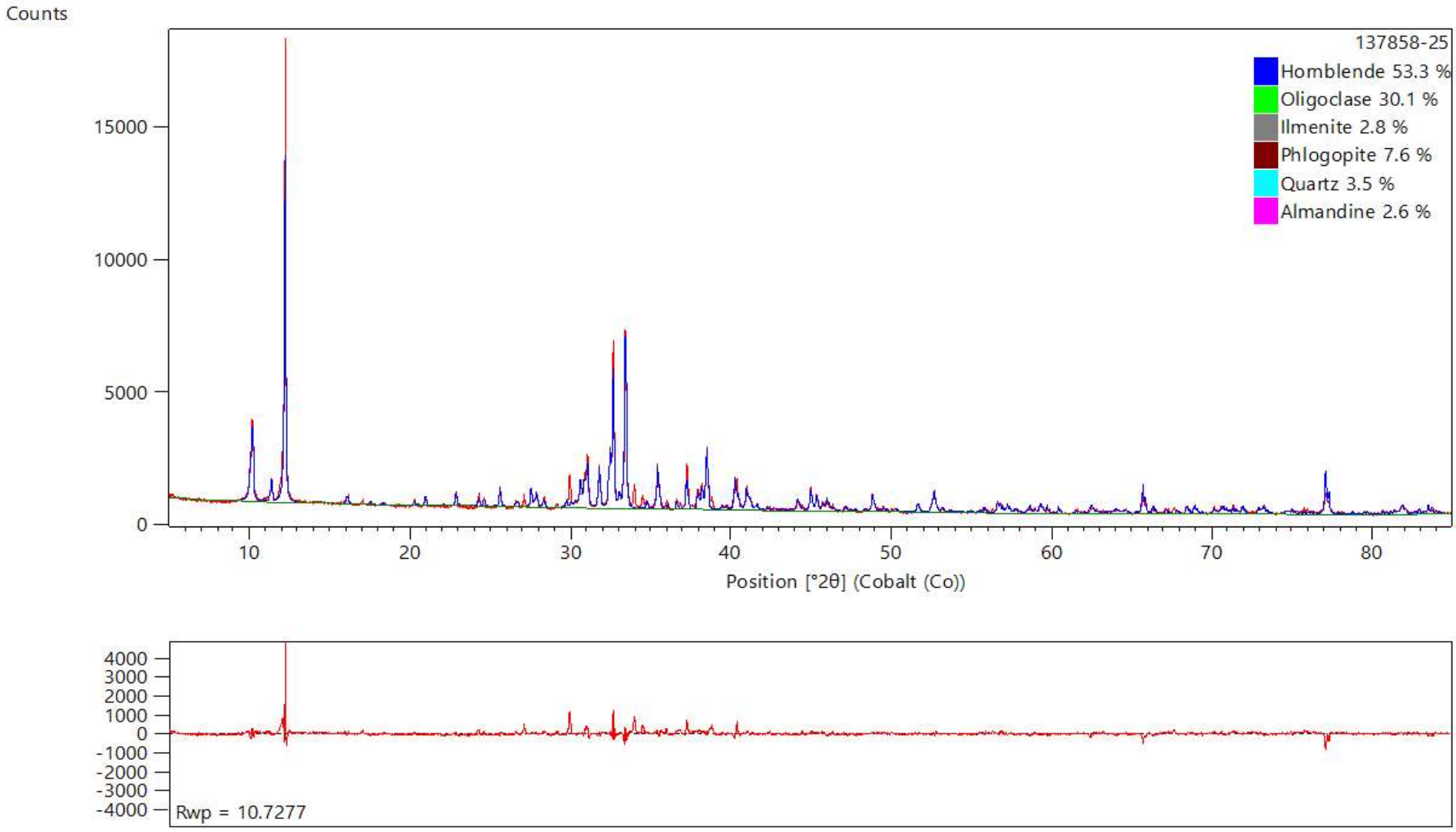

Counts
137858-17
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Oligoclase; Na1.64 Ca0.36 Al2.36 Si5.64 O16.00
Biotite; Si5.44 Al3.56 Fe2.96 Mg1.40 Ti0.32 Na0.04 K1.96 O23.60 F0.32 Cl0.08
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Oligoclase; Na1.64 Ca0.36 Al2.36 Si5.64 O16.00
Biotite; Si5.44 Al3.56 Fe2.96 Mg1.40 Ti0.32 Na0.04 K1.96 O23.60 F0.32 Cl0.08
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00

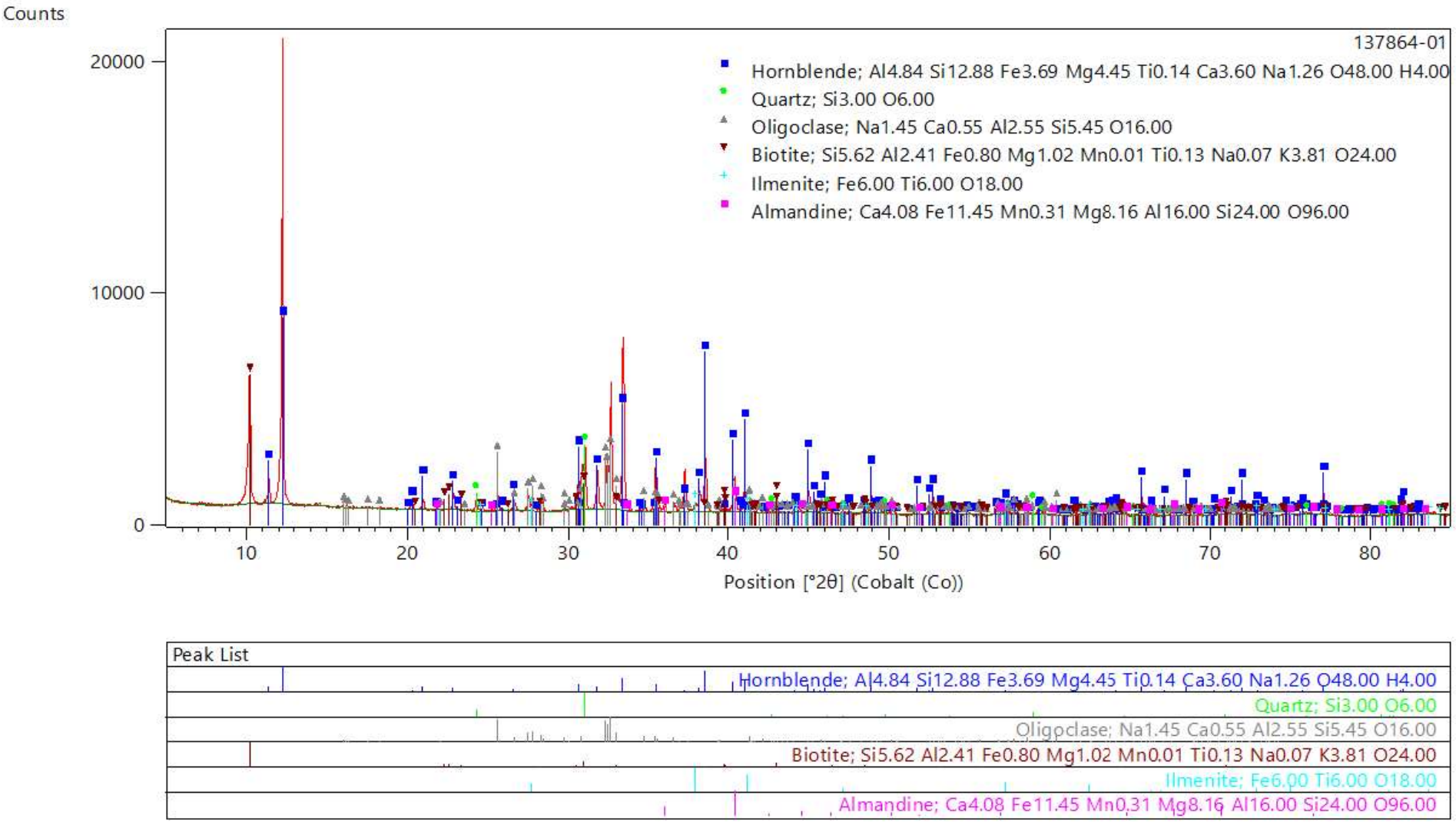

Counts
137858-17
Ilmenite 3.2 %
Quartz 5.7 %
Hornblende 53.8 %
Oligoclase 27.0 %
Biotite 7.8 %
Almandine 2.5 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
Rwp = 9.4703

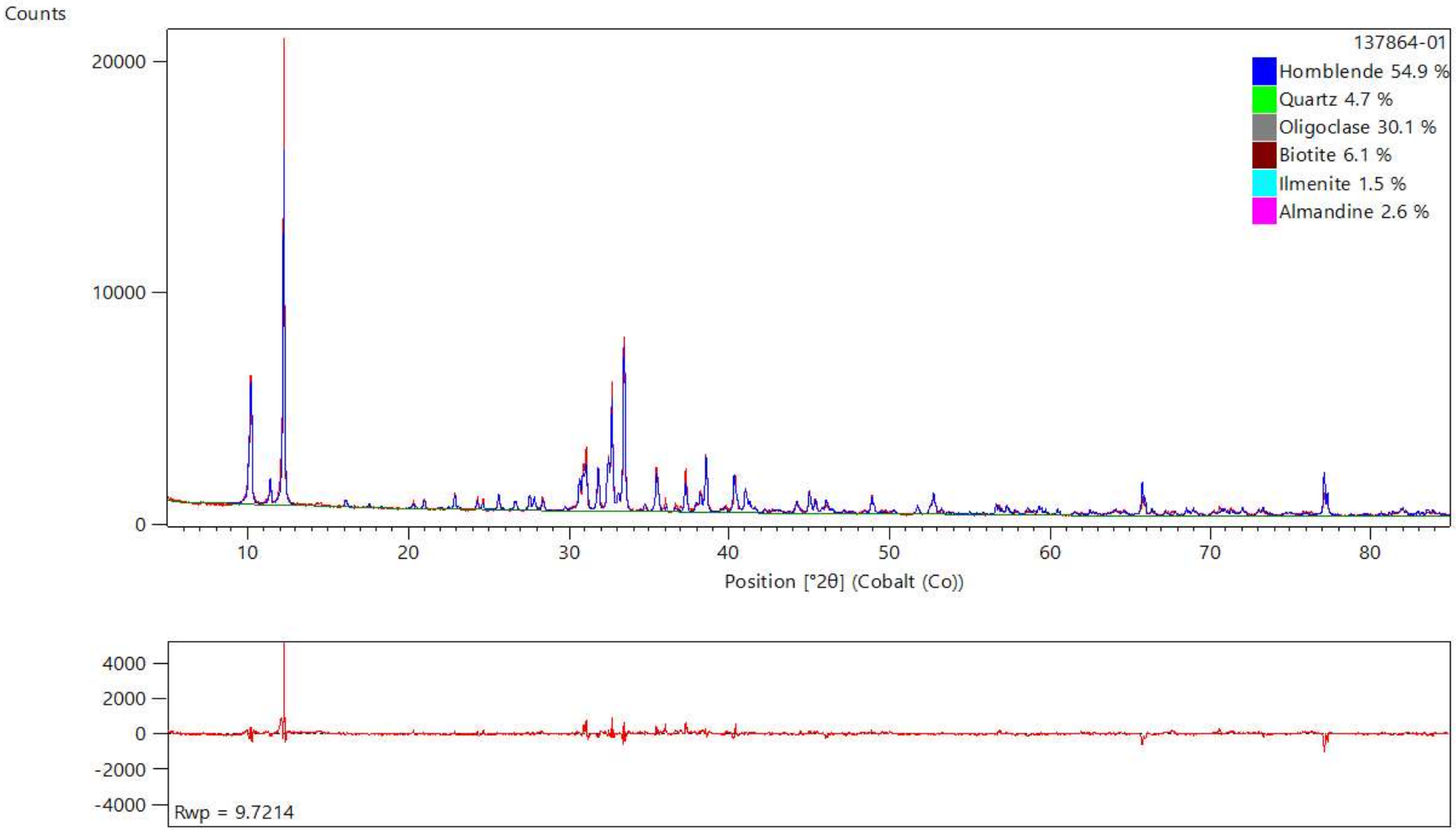

Counts
20000
10000
0
137858-21
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Albite; Na2.00 Al2.00 Si6.00 O16.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Phlogopite; K3.56 Na0.28 Mg6.00 Fe4.44 Ti1.56 Al4.48 Si11.52 O48.00
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Albite; Na2.00 Al2.00 Si6.00 O16.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Phlogopite; K3.56 Na0.28 Mg6.00 Fe4.44 Ti1.56 Al4.48 Si11.52 O48.00

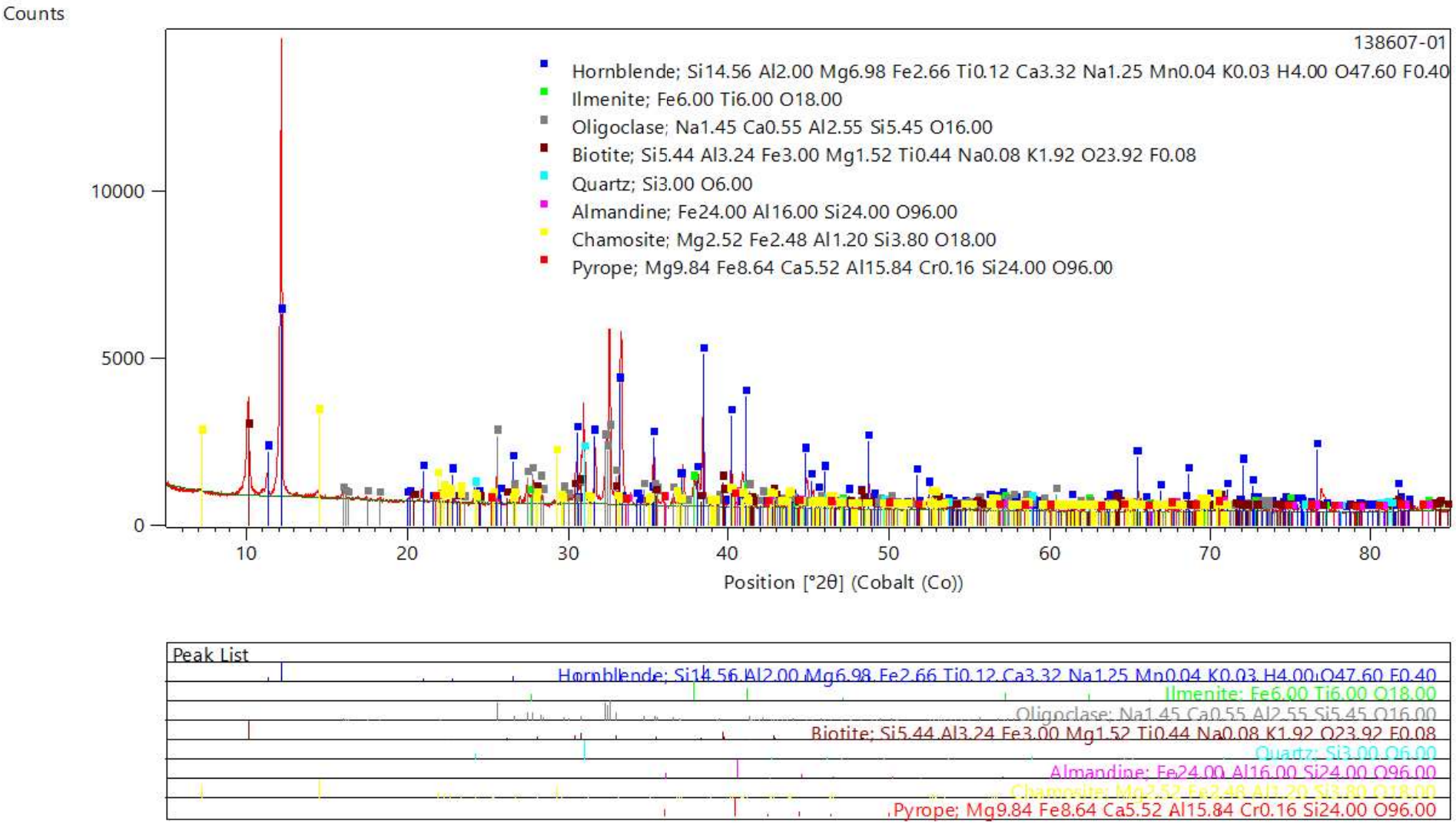

Counts
20000
10000
0
137858-21
Hornblende 58.0 %
Almandine 2.6 %
Albite 26.9 %
Quartz 4.0 %
Ilmenite 1.5 %
Phlogopite 6.9 %
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
4000
2000
0
-2000
-4000
Rwp = 10.1236

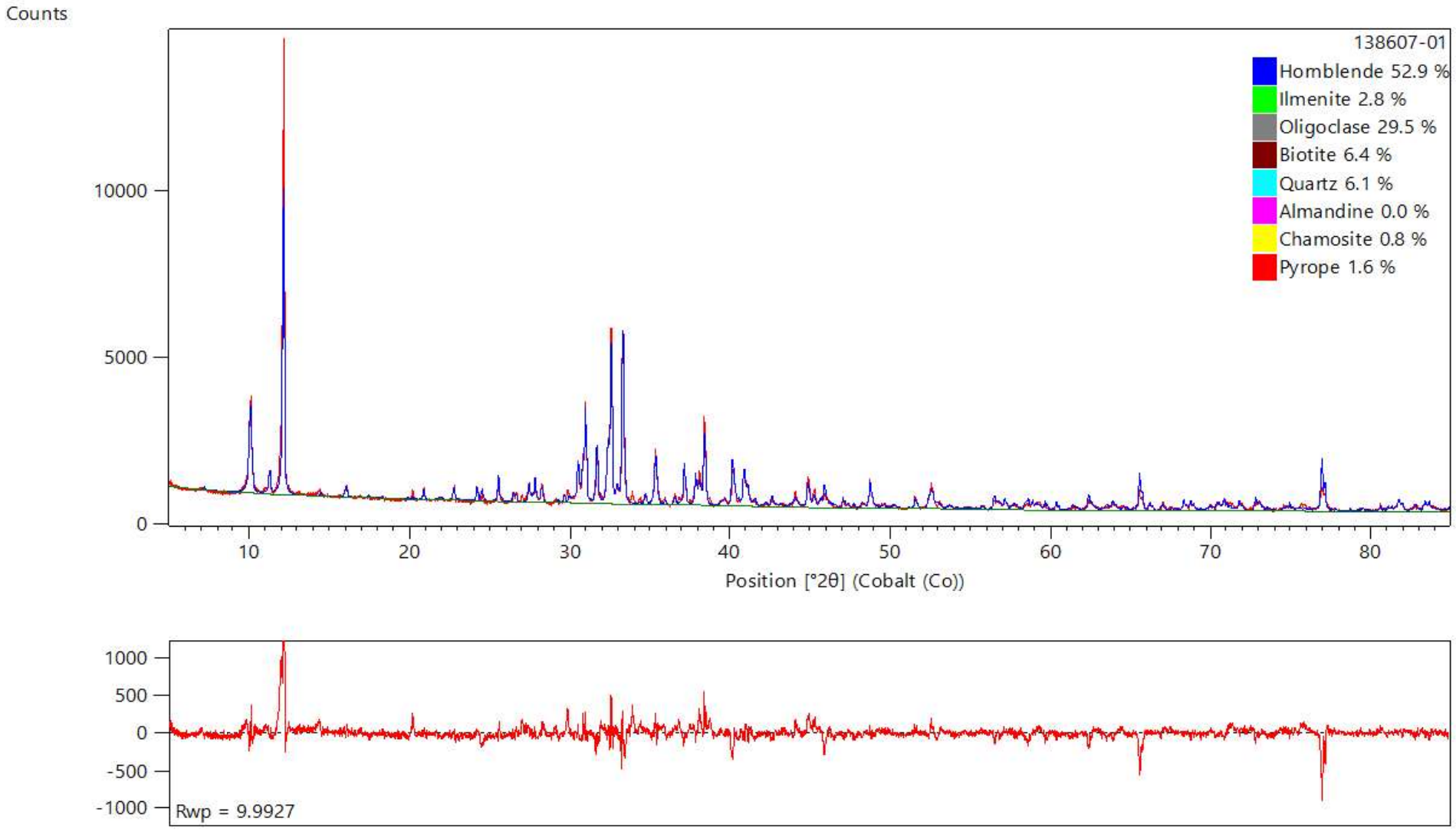

Counts
137858-25
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Phlogopite; K1.80 Na0.12 Mg2.70 Fe2.40 Ti0.54 Al1.88 Si5.68 O24.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
15000
10000
5000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Phlogopite; K1.80 Na0.12 Mg2.70 Fe2.40 Ti0.54 Al1.88 Si5.68 O24.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00

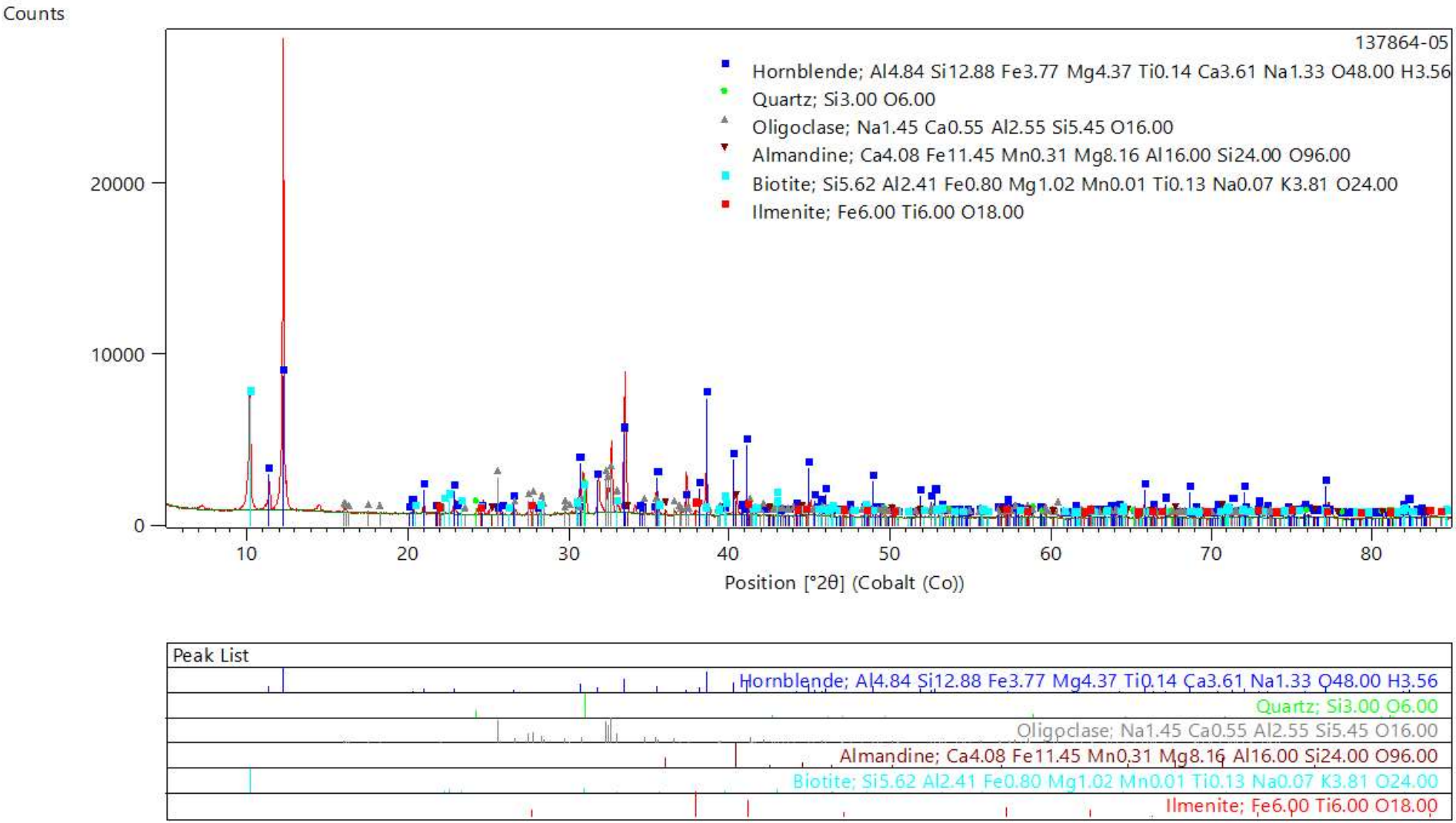

Counts
137858-25
Hornblende 53.3 %
Oligoclase 30.1 %
Ilmenite 2.8 %
Phlogopite 7.6 %
Quartz 3.5 %
Almandine 2.6 %
15000
10000
5000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
4000
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
Rwp = 10.7277

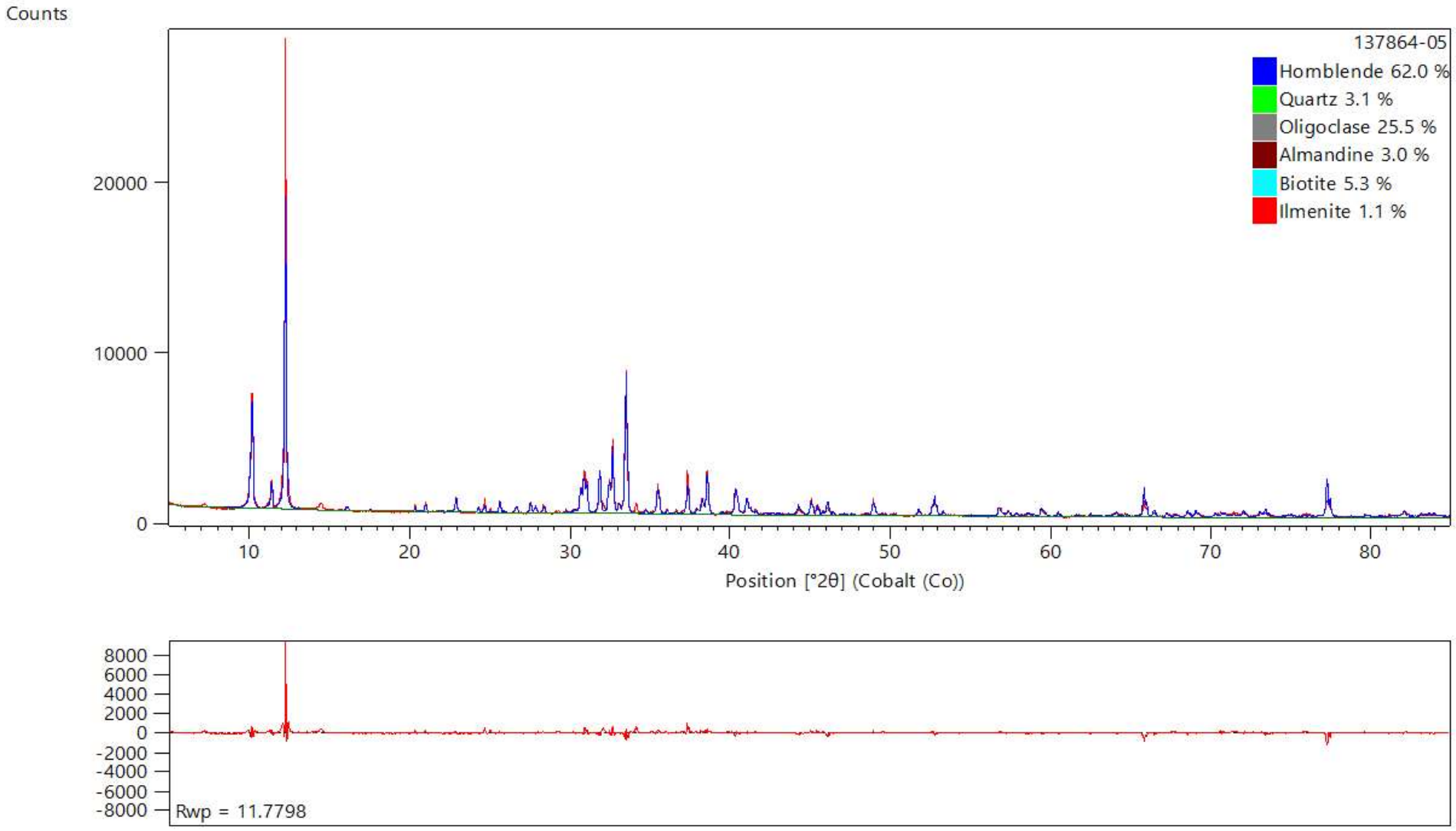

Counts
137864-01
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00

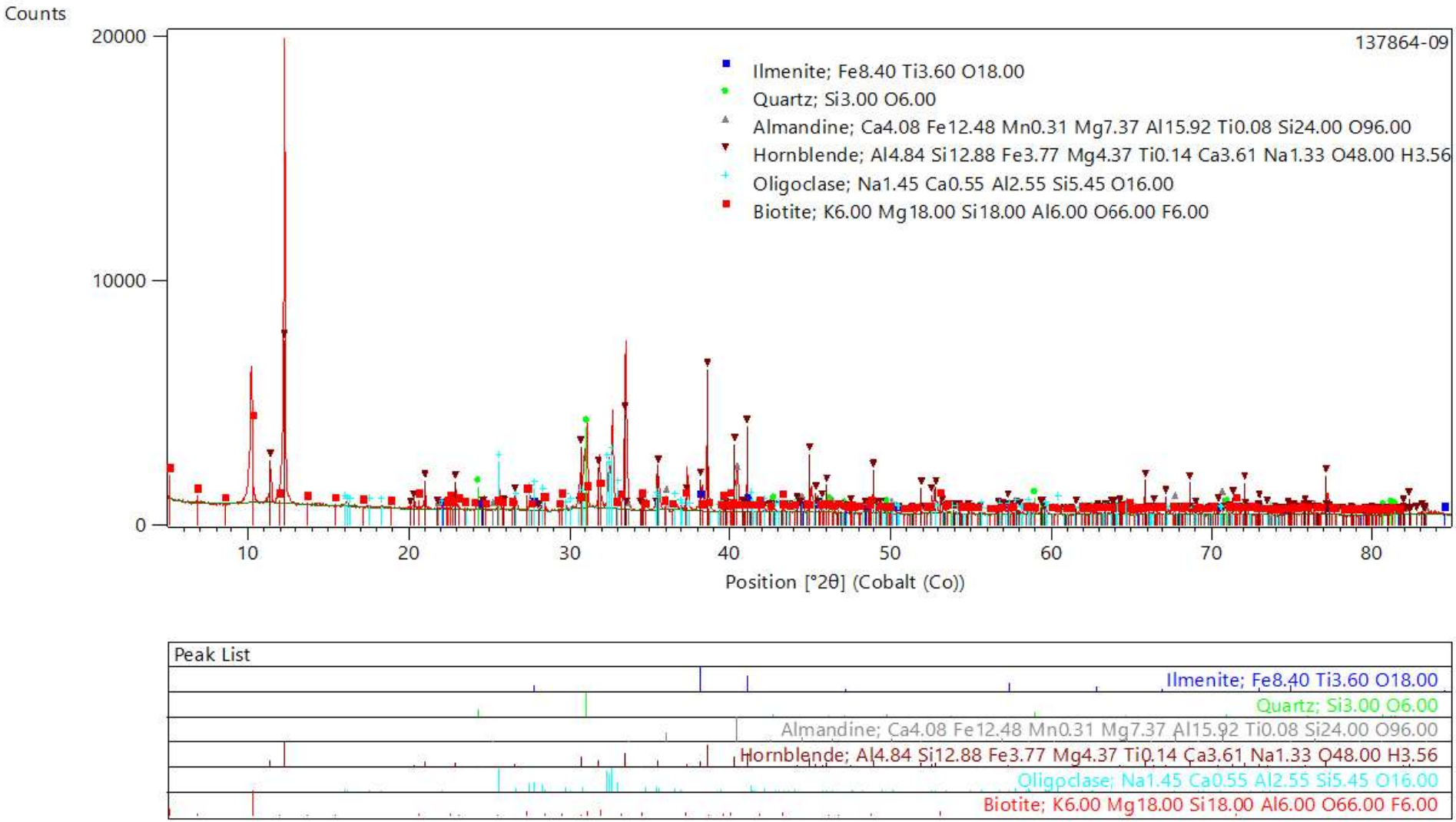

Counts
137864-01
Hornblende 54.9 %
Quartz 4.7 %
Oligoclase 30.1 %
Biotite 6.1 %
Ilmenite 1.5 %
Almandine 2.6 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
4000
2000
0
-2000
-4000
Rwp = 9.7214

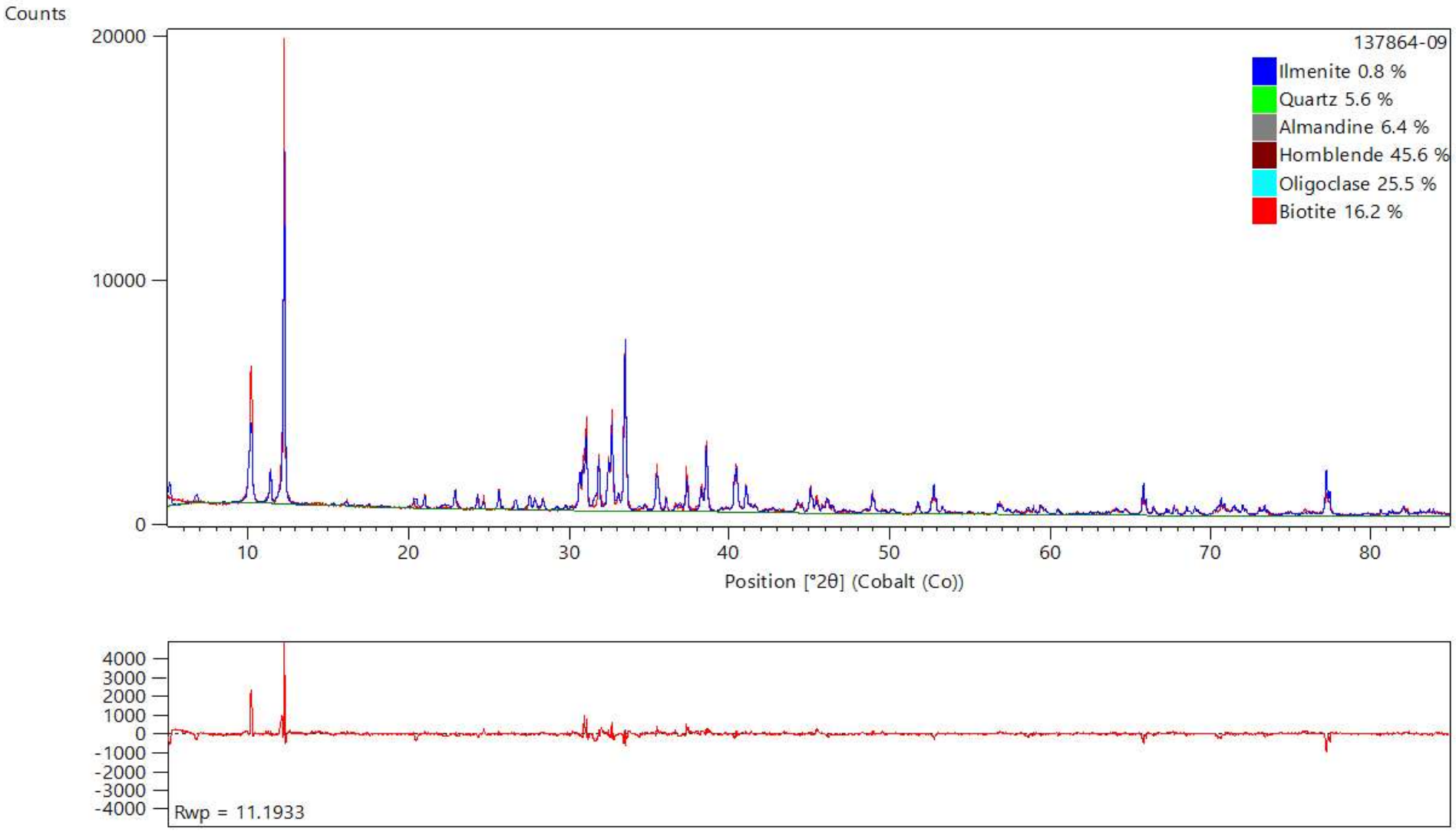

Counts
138607-01
Hornblende; Si14.56 Al2.00 Mg6.98 Fe2.66 Ti0.12 Ca3.32 Na1.25 Mn0.04 K0.03 H4.00 O47.60 F0.40
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.44 Al3.24 Fe3.00 Mg1.52 Ti0.44 Na0.08 K1.92 O23.92 F0.08
Quartz; Si3.00 O6.00
Almandine; Fe24.00 Al16.00 Si24.00 O96.00
Chamosite; Mg2.52 Fe2.48 Al1.20 Si3.80 O18.00
Pyrope; Mg9.84 Fe8.64 Ca5.52 Al15.84 Cr0.16 Si24.00 O96.00
10000
5000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Si14.56 Al2.00 Mg6.98 Fe2.66 Ti0.12 Ca3.32 Na1.25 Mn0.04 K0.03 H4.00 O47.60 F0.40
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.44 Al3.24 Fe3.00 Mg1.52 Ti0.44 Na0.08 K1.92 O23.92 F0.08
Quartz; Si3.00 O6.00
Almandine; Fe24.00 Al16.00 Si24.00 O96.00
Pyrope; Mg9.84 Fe8.64 Ca5.52 Al15.84 Cr0.16 Si24.00 O96.00

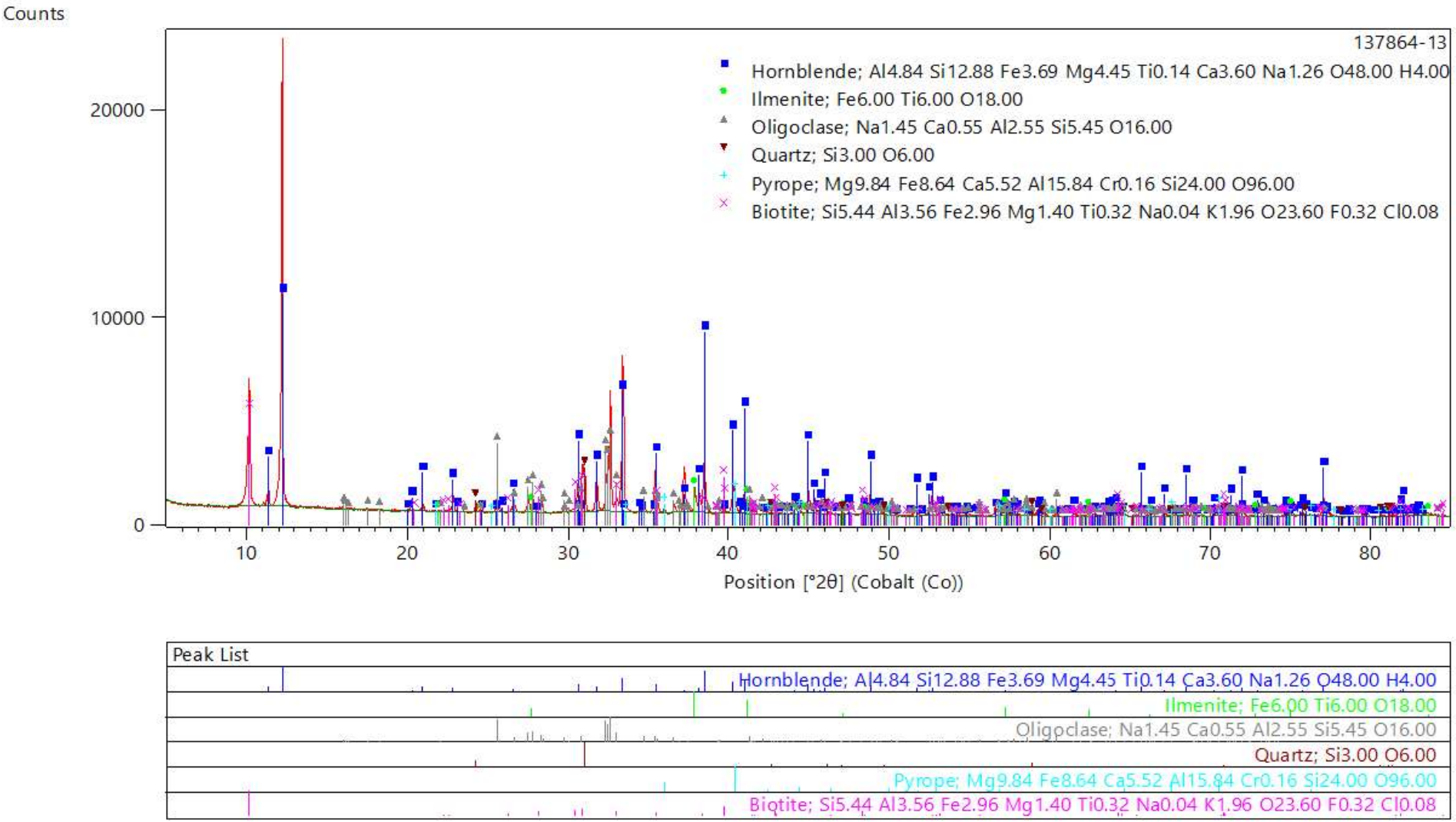

Counts
138607-01
Hornblende 52.9 %
Ilmenite 2.8 %
Oligoclase 29.5 %
Biotite 6.4 %
Quartz 6.1 %
Almandine 0.0 %
Chamosite 0.8 %
Pyrope 1.6 %
10000
5000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
1000
500
0
-500
-1000
Rwp = 9.9927

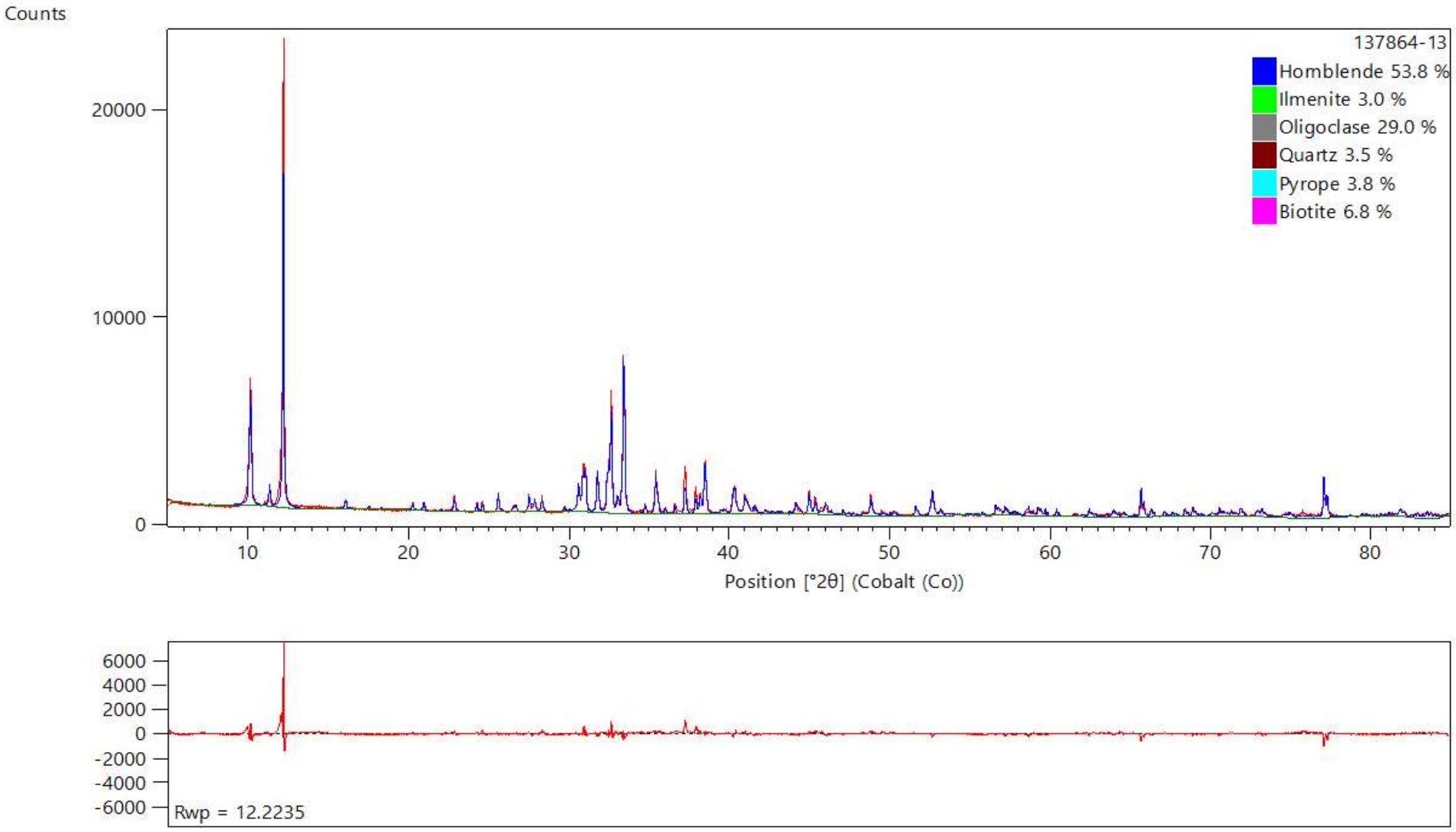

Counts
137864-05
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Quartz; Si3.00 O6.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Almandine; Ca4.08 Fe11.45 Mn0.31 Mg8.16 Al16.00 Si24.00 O96.00
Biotite; Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00

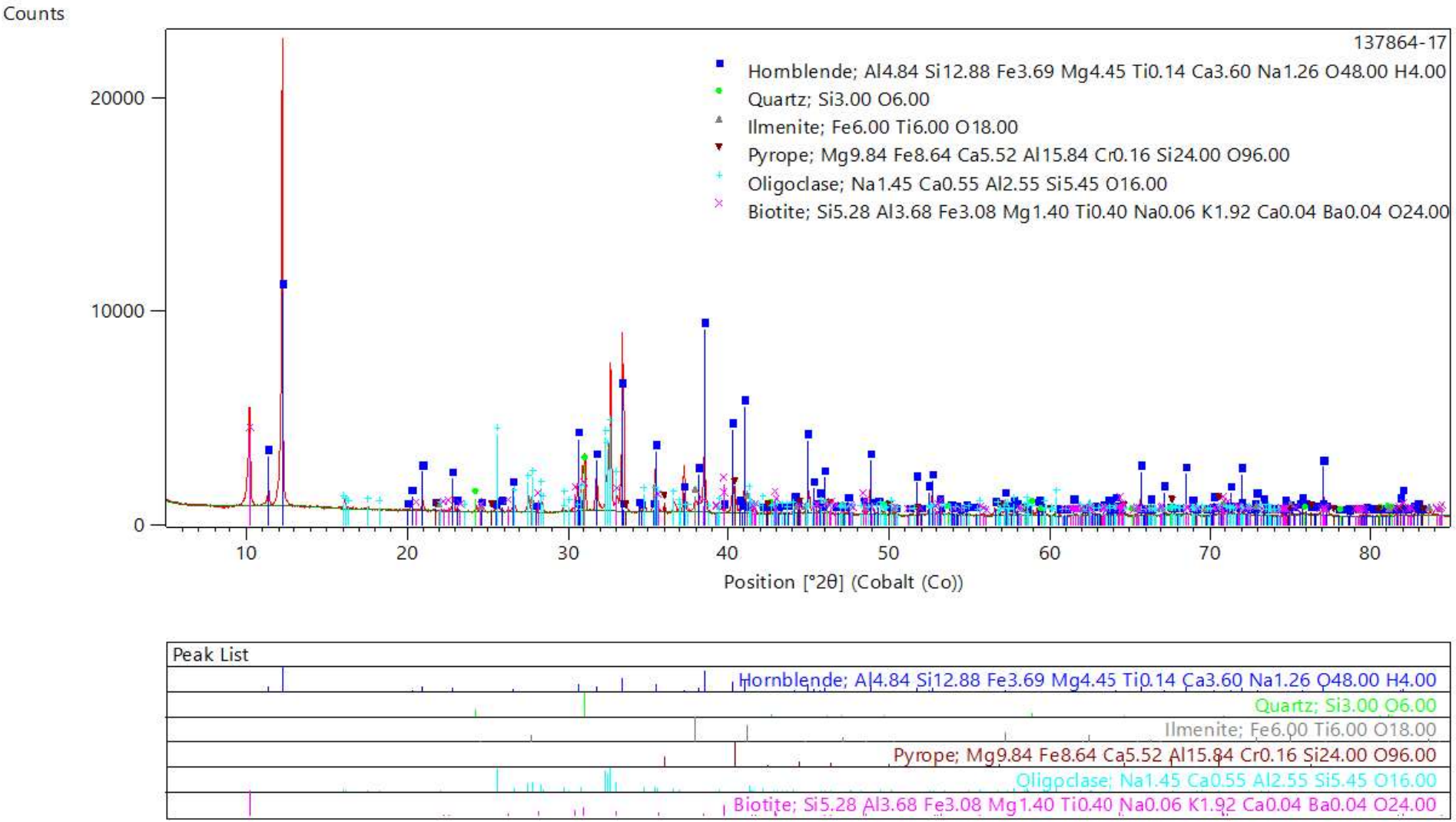

Counts
137864-05
Hornblende 62.0 %
Quartz 3.1 %
Oligoclase 25.5 %
Almandine 3.0 %
Biotite 5.3 %
Ilmenite 1.1 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
8000
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
-8000
Rwp = 11.7798

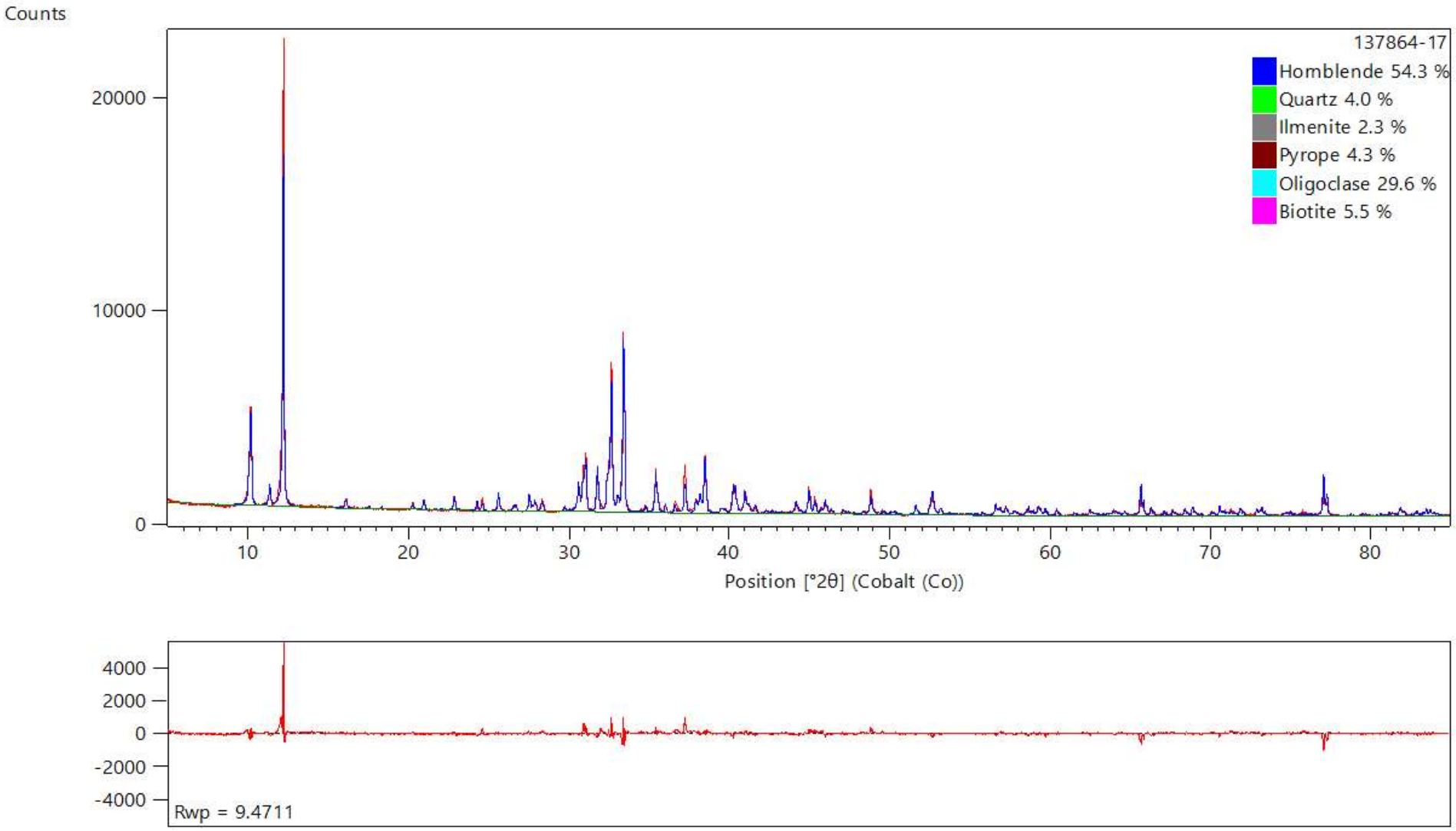

Counts
20000
10000
0
137864-09
Ilmenite; Fe8.40 Ti3.60 O18.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Almandine; Ca4.08 Fe12.48 Mn0.31 Mg7.37 Al15.92 Ti0.08 Si24.00 O96.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; K6.00 Mg18.00 Si18.00 Al6.00 O66.00 F6.00
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Ilmenite; Fe8.40 Ti3.60 O18.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Almandine; Ca4.08 Fe12.48 Mn0.31 Mg7.37 Al15.92 Ti0.08 Si24.00 O96.00
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.77 Mg4.37 Ti0.14 Ca3.61 Na1.33 O48.00 H3.56
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; K6.00 Mg18.00 Si18.00 Al6.00 O66.00 F6.00


Counts
20000
10000
0
137864-09
Ilmenite 0.8 %
Quartz 5.6 %
Almandine 6.4 %
Hornblende 45.6 %
Oligoclase 25.5 %
Biotite 16.2 %
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
4000
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
Rwp = 11.1933


Counts
137864-13
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Pyrope; Mg9.84 Fe8.64 Ca5.52 Al15.84 Cr0.16 Si24.00 O96.00
Biotite; Si5.44 Al3.56 Fe2.96 Mg1.40 Ti0.32 Na0.04 K1.96 O23.60 F0.32 Cl0.08
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Pyrope; Mg9.84 Fe8.64 Ca5.52 Al15.84 Cr0.16 Si24.00 O96.00
Biotite; Si5.44 Al3.56 Fe2.96 Mg1.40 Ti0.32 Na0.04 K1.96 O23.60 F0.32 Cl0.08


Counts
137864-13
Hornblende 53.8 %
Ilmenite 3.0 %
Oligoclase 29.0 %
Quartz 3.5 %
Pyrope 3.8 %
Biotite 6.8 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
Rwp = 12.2235


Counts
137864-17
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Pyrope; Mg9.84 Fe8.64 Ca5.52 Al15.84 Cr0.16 Si24.00 O96.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.28 Al3.68 Fe3.08 Mg1.40 Ti0.40 Na0.06 K1.92 Ca0.04 Ba0.04 O24.00
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
Peak List
Hornblende; Al4.84 Si12.88 Fe3.69 Mg4.45 Ti0.14 Ca3.60 Na1.26 O48.00 H4.00
Quartz; Si3.00 O6.00
Ilmenite; Fe6.00 Ti6.00 O18.00
Pyrope; Mg9.84 Fe8.64 Ca5.52 Al15.84 Cr0.16 Si24.00 O96.00
Oligoclase; Na1.45 Ca0.55 Al2.55 Si5.45 O16.00
Biotite; Si5.28 Al3.68 Fe3.08 Mg1.40 Ti0.40 Na0.06 K1.92 Ca0.04 Ba0.04 O24.00


Counts
137864-17
Hornblende 54.3 %
Quartz 4.0 %
Ilmenite 2.3 %
Pyrope 4.3 %
Oligoclase 29.6 %
Biotite 5.5 %
20000
10000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Position [°2θ] (Cobalt (Co))
4000
2000
0
-2000
-4000
Rwp = 9.4711

ANNEXE C

Conditions générales et limitations - Rapport d'expertise technique

CONDITIONS GÉNÉRALES ET LIMITATIONS
DOCUMENT D'EXPERTISE TECHNIQUE

UTILISATION DU PRÉSENT DOCUMENT ET DE SON CONTENU

Ce document a été préparé pour l'usage exclusif du Client ou de ses agents. Les données factuelles, les interprétations, les commentaires ainsi que les recommandations qu'il contient sont spécifiques à l'étude qu'il couvre et ne s'appliquent à aucun autre projet ou autre site. Ce document doit être lu dans son ensemble, puisque des sections pourraient être faussement interprétées lorsque prises individuellement ou hors contexte. Par ailleurs, la version finale de ce document prévaut sur tout autre texte, opinion ou version préliminaire émis par Golder.

À moins d'avis contraire, les interprétations, commentaires et/ou les recommandations présentés dans ce document ont été formulés, conformément à la portée de l'expertise. Ces mêmes interprétations, commentaires et/ou recommandations ont été formulés en tenant compte des limitations générales décrites sur cette page de même qu'à la lumière de nos connaissances concernant l'utilisation courante et/ou prévue du site, l'emplacement du site, les règlements, normes et critères environnementaux en vigueur ainsi que les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de l'étude.

Golder doit se fier en toute bonne foi à la véracité des renseignements fournis par les personnes contactées et interrogées au cours de l'exécution de ce mandat. À moins qu'il ne soit démontré qu'elle a été négligente, Golder ne pourra pas être tenue responsable des dommages, quels qu'ils soient, qui seraient la conséquence directe ou indirecte, de déclarations fausses ou mensongères, de réticence ou de non-divulgation d'une information pertinente par les personnes interrogées. Les références aux lois ou aux règlements contenues dans ce document sont fournies à titre indicatif, sur une base technique. Comme les lois et règlements sont sujets à interprétation, Golder recommande au Client de consulter ses conseillers juridiques afin d'obtenir les avis appropriés.

Golder ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de conditions imprévisibles, de conditions qui lui seraient inconnues, de l'inexactitude de données provenant d'autres sources que Golder et de changements ultérieurs aux conditions du site à moins d'avoir été prévenue par le Client de tout événement, activité, information, découverte passée ou future susceptible de modifier les conditions décrites dans ce document et d'avoir eu la possibilité de réviser les interprétations, commentaires et recommandations formulés dans ce document. De plus, Golder ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de toutes modifications futures aux règlements, normes ou critères applicables, de toute utilisation faite du présent document par un tiers et/ou à des fins autres que celles pour lesquelles il a été rédigé, de perte de valeur réelle ou perçue du site ou de la propriété, ni de l'échec d'une quelconque transaction en raison des informations factuelles contenues dans ce document.

ÉVALUATION DES CONDITIONS DU SITE

L'expertise technique effectuée par Golder et décrite dans ce document a été réalisée conformément aux règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de sa réalisation. À moins d'avis contraire, les résultats de travaux antérieurs ou simultanés, provenant d'autres sources que Golder, cités et/ou utilisés dans ce document furent considérés comme ayant été obtenus en respectant les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées et, conséquemment, comme étant valides.

Dans le cadre de ce mandat, Golder n'a pas réalisé de sondages, de prise de mesures ou d'inventaire détaillé de déchets, de produits, de sol, d'air, d'eau ou de toute autre matière sur le site à l'étude ou dans ses environs.

ANNEXE

B

CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX COMPOSANT LA SURFACE DE ROULEMENT DES ROUTES DE HALAGE

NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Minerai de fer Québec		
PROJET :	Caractérisation des matériaux composant la surface de roulement des routes de halage	**Réf. WSP :**	221-06731-06
OBJET :	Caractérisation de la teneur en silice cristalline des matériaux composant la surface de roulement des routes de halage au site de la mine de fer du lac Bloom	**DATE :**	14 octobre 2022
DESTINATAIRE :	Michel Groleau (MFQ)		

1 CONTEXTE ET OBJECTIF

Minerai de fer Québec (MFQ) a obtenu le 16 février 2022 un décret ministériel afin d'augmenter la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine de fer du lac Bloom (décret 166-2022). Le décret émis dans la Gazette officielle du Québec en date du 16 février 2022 mentionne que MFQ est tenu de respecter la condition suivante (condition 4) en ce qui a trait à la qualité de l'air ambiant :

> *« Minerai de fer Québec Inc. doit tenir un registre des matériaux utilisés pour la construction et l'entretien de la couche de roulement des routes de halage comprenant la date et la zone dans laquelle ils ont été utilisés. Le registre doit démontrer que Minerai de fer Québec Inc. a utilisé seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2% par des résultats d'analyses. Ce registre doit être mis à la disposition du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques sur demande et dans le délai qu'il indique.*
>
> *Il doit également déposer auprès du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques un rapport démontrant qu'il a utilisé seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2% pour la construction de la couche de roulement des routes de halage, au plus tard trois mois après la fin de la construction. Des rapports présentant cette information pour les matériaux utilisés pour l'entretien des routes doivent par la suite être transmis par Minerai de fer Québec Inc. au ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques tous les cinq ans. »*

Dans l'objectif de mettre en œuvre cette condition, MFQ a réalisé des études complémentaires visant à mieux cerner les enjeux spécifiques à la teneur en silice cristalline des matériaux utilisés pour les routes de halage et voir comment la gestion de cet enjeu peut se traduire dans ses réalités opérationnelles.

Il est important de préciser que cette condition a été établie dans le contexte de l'évaluation du critère annuel de qualité de l'atmosphère pour la silice cristalline dans les particules de taille inférieure à 4 µm (PM_4). Plus spécifiquement, cette condition se veut un suivi des paramètres utilisés dans l'estimation des émissions de silice cristalline dans les PM_4 liées au routage dans le cadre de l'étude de modélisation de la dispersion atmosphérique.

Or, puisque la silice cristalline est un matériau de grande dureté et peu friable (index d'abrasion faible), il est attendu que la teneur en silice cristalline soit plus faible dans les particules de faibles tailles de la surface de roulement des routes, générées par un mécanisme d'abrasion lors du passage des camions, que directement dans les matériaux utilisés pour la construction de celle-ci. L'utilisation des teneurs *in situ* en silice cristalline serait par conséquent

inappropriée pour évaluer les émissions de silice cristalline dans les PM_4 et un indicateur inadéquat afin de répondre à l'objectif visé par la condition 4.

Dans ce contexte, MFQ a procédé à l'échantillonnage et à l'analyse de la teneur en silice cristalline dans les matières granulaires présentes sur la surface des routes de halage sur le site de la mine de fer du Lac Bloom. La présente note détaille ainsi la méthodologie employée ainsi que les résultats de l'échantillonnage initial réalisé au mois d'août 2022. La méthode utilisée est similaire à celle employée sur le site de la mine de Canadian Malartic à Malartic en 2016 (WSP, 2016) et celle-ci a également été exigée par le MELCC dans le cadre de l'évaluation du projet de minier Matawinie à Saint-Michel-des-Saints (MELCC, 2020).

2 MÉTHODOLOGIE

L'échantillonnage des particules fines au sol a été réalisé sur des segments de route dans le but d'obtenir un portrait des teneurs en silice cristalline en fonction de la taille des particules. La caractérisation a donc visé trois routes non pavées sur le site de la mine. Pour chacune des routes, trois échantillons ont été prélevés, pour un total de neuf échantillons. La description de chaque échantillon est donnée au tableau 1, tandis que la carte 1 présente leurs localisations.

Tableau 1 Emplacement des prélèvements

Route échantillonnée		Numéro d'échantillon	Coordonnées UTM (m)	
			X	Y
Route 1	Chemin minier entre le dispatch et la mine	MFQ-route220809-1-1	616 588	5 856 818
		MFQ-route220809-1-2	615 932	5 856 349
		MFQ-route220809-1-3	615 484	5 855 664
Route 2	Chemin minier entre concasseur et BW	MFQ-route220809-2-1	613 971	5 856 042
		MFQ-route220809-2-2	613 668	5 856 000
		MFQ-route220809-2-3	613 476	5 855 901
Route 3	Chemin miner fosse triangle	MFQ-route220809-3-1	614 426	5 855 588
		MFQ-route220809-3-2	614 275	5 855 393
		MFQ-route220809-3-3	614 276	5 855166

2.1 PRÉLÈVEMENT

La méthode de prélèvement est basée sur la méthodologie de l'AP-42 de l'US-EPA[1], recommandée par l'EPA, pour échantillonner, entre autres, les particules fines au sol sur les routes non pavées. Cette méthode est également recommandée à la section 13.2.2 *Unpaved Roads* de l'AP-42[2], utilisée pour caractériser les émissions liées au routage lors de l'étude de modélisation de la dispersion atmosphérique.

[1] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). AP-42, Appendix C.1, Procedures for sampling surface/bulk dust loading, 1993.
[2] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors: AP 42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources, 1995.

Pour chacune des routes échantillonnées, le prélèvement des particules de surface a été réalisé sur une bande de 0,3 m sur la largeur de la route. Les bandes de 0,3 m ont été identifiées par des cordes et aucun marquage (peinture ou craie) n'a été effectué. Des prélèvements du sol de surface sur ces bandes ont été réalisés avec un balai et porte-poussière et déposés dans une chaudière recouverte d'un sac en plastique polyéthylène. Un minimum de 6 prélèvements, répartis spatialement sur la route, a été lentement transféré dans la chaudière pour éviter la mise en suspension. Trois chaudières ont ainsi été remplies et identifiées de manière à créer un triplicata par segment de route.

Finalement, des sous-échantillons représentatifs de chacune des chaudières ont été transférés dans des contenants de polyéthylène pour envoi au laboratoire.

La méthode détaillée est présentée à l'annexe A et les photos prises lors de l'échantillonnage sont présentées à l'annexe B.

2.2 ANALYSE DES ÉCHANTILLONS

Le laboratoire RJ Lee Group a été sélectionné pour les analyses de silice cristalline. Ce laboratoire détient l'accréditation de l'American Industrial Hygiene Association – Laboratory Accreditation Program (AIHA-LAP, LLC) pour l'analyse de la silice cristalline. Deux analyses ont été effectuées sur chacun des échantillons.

Dans un premier temps, le laboratoire a déterminé la quantité de silice cristalline dans les échantillons par analyse de diffraction des rayons X (XRD). Pour les tranches inférieures à 45 µm, un sous-échantillon a été analysé plus en détail à l'aide de la microscopie électronique assistée par ordinateur (CCSEM) afin d'obtenir la quantité de silice cristalline par tranches granulométriques. Les quantités de silice cristalline respirables ont ainsi été déterminées sur les fractions suivantes :

- Particules de taille inférieure à 75 µm (PM_{75});
- Particules de taille inférieure à 10 µm (PM_{10});
- Particules de taille inférieure à 4 µm (PM_{4});
- Particules de taille inférieure à 2,5 µm ($PM_{2,5}$).

Dans un deuxième temps, le laboratoire a déterminé la distribution des tailles de particules de l'échantillon par diffraction laser.

3 RÉSULTATS

3.1 RÉSULTATS D'ANALYSE

Les certificats d'analyse en laboratoire sont présentés à l'annexe C.

3.2 TRAITEMENT DES RÉSULTATS

Le résultat de la première analyse de silice cristalline est rapporté par le laboratoire en quantité de silice cristalline par rapport au poids de l'échantillon complet, et non en teneur par tranche granulométrique. Afin de déterminer les teneurs en silice cristalline par tranche granulométrique, cette analyse doit être combinée à l'analyse de la distribution des tailles de particules. Ainsi, les teneurs par tranches granulométriques sont déterminées par le ratio

des deux analyses pour une même tranche granulométrique. Finalement, la valeur moyenne pour chacune des routes est déterminée à l'aide des teneurs obtenues pour les trois échantillons correspondants.

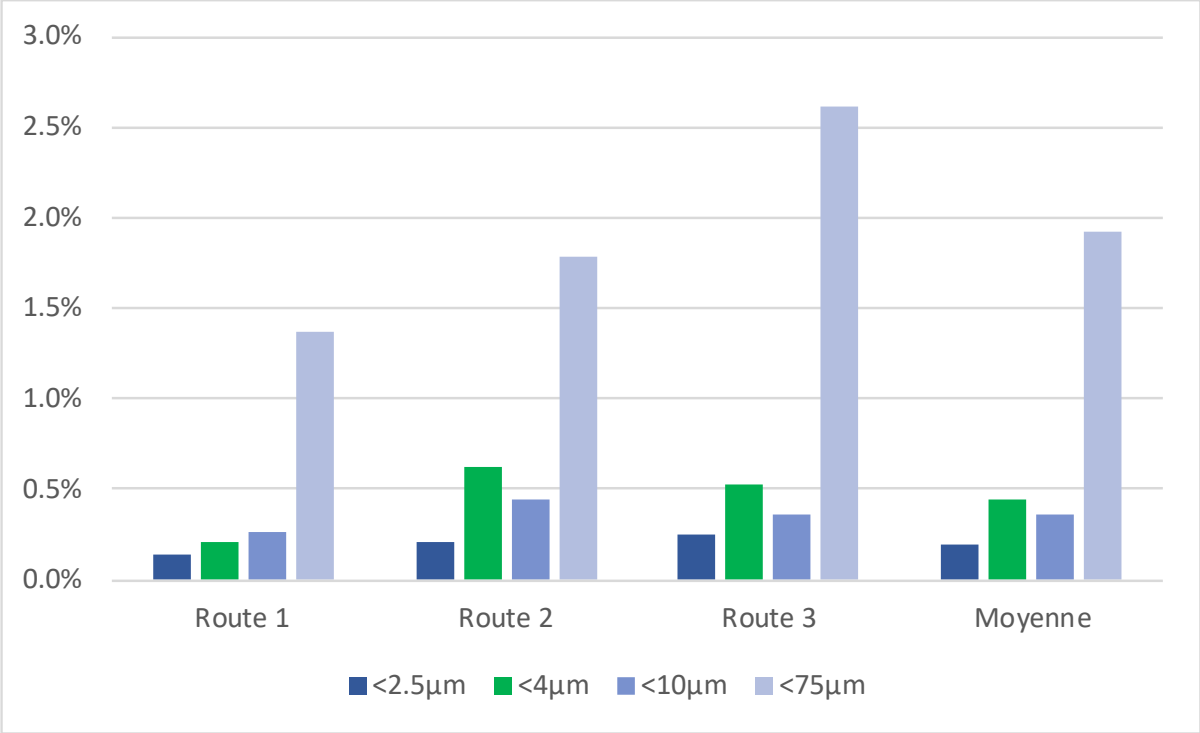
À titre d'exemple, pour la moyenne des échantillons de la « Route 1 », la quantité moyenne de silice cristalline mesurée dans les PM_4 est de 0,02 % [SiO_2-PM_4 / échantillon total] et la quantité moyenne de PM_4 mesurées est de 9,6 % [PM_4 / échantillon total]. La teneur en silice cristalline dans les PM_4 est alors estimée à 0,21 % [SiO_2-PM_4 / PM_4], soit 0,02 % / 9,6 %.

Le tableau 2 et la figure 1 présentent les teneurs en silice cristalline calculées pour chacune des routes analysées, et ce, pour chaque tranche granulométrique.

Tableau 2 Teneur en silice cristalline par tranche granulométrique

Route échantillonnée		**Teneur moyenne en silice cristalline (%)**			
		< 2,5 µm	**< 4 µm**	**< 10 µm**	**< 75 µm**
Route 1	Chemin minier entre le dispatch et la mine	0,14	0,21	0,26	1,37
Route 2	Chemin minier entre concasseur et BW	0,21	0,62	0,44	1,79
Route 3	Chemin minier fosse triangle	0,25	0,52	0,36	2,62
	Moyenne	0,20	0,45	0,36	1,93

Figure 1 **Teneur en silice cristalline par tranche granulométrique**



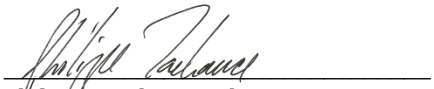
4 ANALYSE

Les résultats d'échantillonnage montrent que la teneur en silice cristalline dans les PM_4 présentes sur la surface de roulement des routes de halage sur le site de la mine de fer du Lac Bloom est en deçà de 2 %, tel qu'exigé à la condition 4 du décret, et ce, pour l'ensemble des routes échantillonnées.

De plus, les résultats montrent que la teneur en silice cristalline dans les $PM_{2.5}$, les PM_4 et les PM_{10} est nettement inférieure à la teneur dans les PM_{75}. À titre d'exemple, la teneur en silice cristalline moyenne de tous les échantillons analysés passe de 1,93 % dans les PM_{75} à 0,45 % dans les PM_4, soit un ratio de 23 %. Or, il est important de noter que ce ratio compare des tranches granulométriques fines (PM_4 et PM_{75}) et qu'en comparant les teneurs dans les PM_4 aux teneurs *in situ* des lithologies des matériaux utilisés pour la construction de la surface de roulement, un ratio encore plus faible serait attendu.

L'analyse confirme ainsi l'hypothèse initiale et montre que l'utilisation des teneurs *in situ* en silice cristalline est inappropriée pour évaluer les émissions de silice cristalline dans les PM_4 dues au routage et représente un indicateur inadéquat afin de répondre à l'objectif de la condition 4. Il est donc recommandé que la vérification de la condition 4 soit effectuée à l'aide d'une analyse de la surface de roulement des routes telle que présentée dans la présente note technique.

PRÉPARÉ PAR



Philippe Lachance, Physicien, M. Sc.
Spécialiste senior et chargé de projets – Qualité de l'air

Sylvain Marcoux, ing. MBA (OIQ #116307)
Directeur de projets – Qualité de l'air

et

Julien Poirier, ing. M.Sc. (OIQ # 5031699)
Coordonnateur et directeur de projets – Qualité de l'air

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2020. *Rapport d'analyse environnementale pour le projet minier Matawinie sur le territoire de la municipalité de Saint-Michel-des-Saints par Nouveau Monde Graphite Inc., Dossier 3211-16-019*.

WSP. 2016. *Modélisation des concentrations de silice cristalline, Projet d'extension de la mine aurifère Canadian Malartic*. Trois-Rivières, Québec. Mémo technique produit pour Canadian Malartic GP.

Station d'échantillonnage des sols

- Segment de route 1
- Segment de route 2
- Segment de route 3

Composante du site minier

- Contour des infrastructures existantes

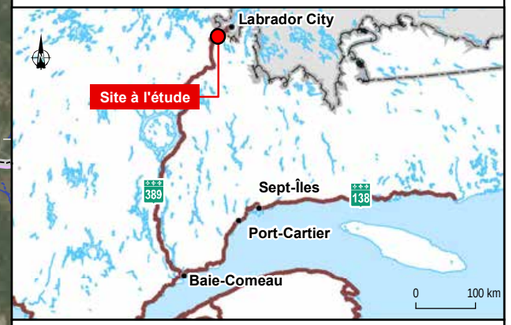
Hydrographie

Type de cours d'eau

- Canal
- Intermittent
- Intermittent partiellement souterrain
- Permanent
- Permanent partiellement souterrain

Limite

- Limite de Terre-Neuve-et-Labrador
- Limite de bail minier (MFQ)



MINERAI DE FER QUÉBEC
QUEBEC IRON ORE

Analyses complémentaires de la silice cristalline à la mine du Lac Bloom

Suivi de la silice dans la surface de roulement

Carte 1
Échantillonnage des surfaces de sol près des sources d'émission de particules

Sources :
BDTQ, 1/20 000, MRNF Québec, 2007
CanVec+, 1/50 000, RNCan, 2014
World Imagery, ESRI, octobre 2021

0 350 700 m

UTM, fuseau 19, NAD83

Octobre 2022

Préparation : S. Marcoux
Dessin : C. Forgues
Vérification : L. Bouchard

221-06731-06_da_C1_503_loc_echant_wspb_221013.mxd

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

ANNEXE A

Méthodologie d’échantillonnage au sol

Programme de suivi de la surface de roulement des routes de halage

Objectif :

Caractérisation de la teneur réelle en silice dans les particules fines de sols des routes de halage au site de la mine de fer du lac Bloom

Source :

Méthode de prélèvement basée sur :
US-EPA, AP-42, Appendix C-1 https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/appendix/app-c1.pdf

Méthode de fractionnement des échantillons basée sur :
US-EPA, AP-42, Appendix C-2 https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/appendix/app-c2.pdf

Pour la grosseur des échantillons à prélever, se référer à :
ASTM, C-136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

Conditions météorologiques au moment du prélèvement :

S'assurer qu'il n'y a pas eu de précipitation dans les 24 h précédant l'échantillonnage.

Santé-sécurité:

Préparer une Analyse sécuritaire et environnementale des tâches (ASET) préalablement à la campagne d'échantillonnage. Les prélèvements doivent être effectués sous la supervision d'un membre du personnel de la Direction Environnement de la mine. S'assurer que les méthodes de prélèvements soient effectuées en respectant les règles de sécurité de la mine. Le travail sur les routes de transport où circulent les camions doit faire l'objet d'une attention particulière.

Matériel de base :

1. Balai en paille de riz 30 cm;
2. Porte-poussière à long manche;
3. Pelle;
4. 2 cordes de 15 m;
5. 12 piquets d'échantillonnage;
6. 1 masse ou 1 marteau lourd;
7. Chaudières étanches de 20L, avec joint d'étanchéité (une par échantillon);
8. Contenants étanches de 400 ml (trois par échantillon);
9. Balance de terrain (10 kg).

Échantillonnage :

A. Prélèvement sur routes non pavées :

1. Afin d'obtenir un portrait moyen représentatif des routes du site, il est recommandé de prélever un échantillon à tous les 4,8 km de routes non pavés. Cet échantillon doit être constitué de 3 à 6 prélèvements, répartis spatialement à tous les 0,8 km de route (voir le schéma à la figure A.1). Si la route à échantillonner est inférieure à 2,4 km, les 3 prélèvements doivent être effectués à des distances aléatoires sur le segment de route.

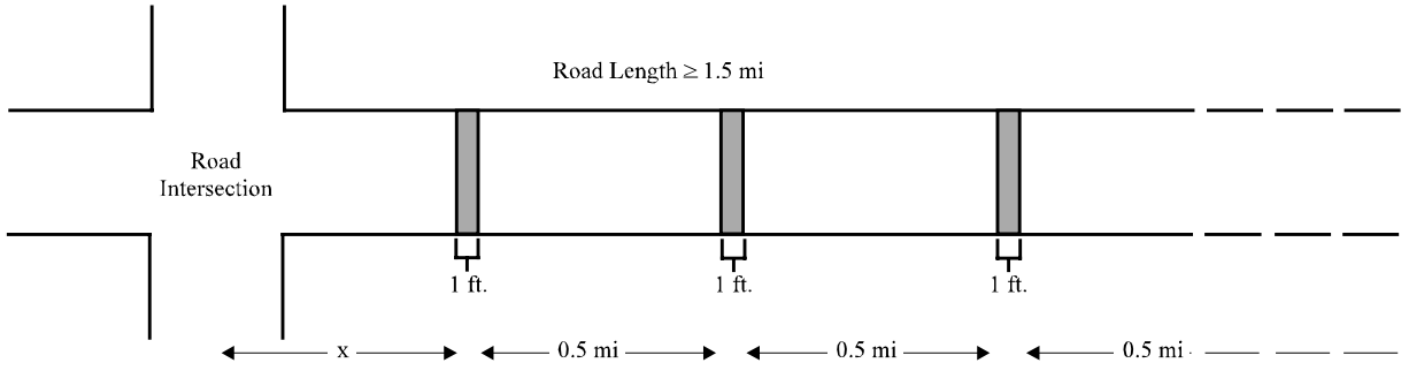


Figure A.1 Schéma de la position des prélèvements sur un segment de route (US-EPA, AP-42, Appendix C.1)

2. Pour chaque échantillon, préparer une chaudière propre de 20 L dotée d'un intérieur en polyéthylène ou en installant un sac résistant en polyéthylène.
3. Prélèvement :
    a. À l'aide de deux cordes maintenues par des piquets, établir une zone d'échantillonnage transversale à la route de largeur de 0,3 m. Ne pas utiliser du marquage à la peinture ou avec une ligne de craie (chalk line).
    b. À l'aide du balai et du porte-poussière, prélever le matériel libre de la surface sans affecter la base dure de la route. Le prélèvement à l'aide du balai doit être fait lentement afin d'éviter que la matière fine soit mise en suspension. Les prélèvements doivent être effectués uniquement où les roues des véhicules circulent normalement (c'est-à-dire, éviter les bermes ou de tout « monticule » le long de l'axe de la route).
4. L'échantillon doit avoir un poids total d'environ 10 kg par chaudière.
5. Bien fermer les couvercles en vérifiant qu'ils sont étanches et identifier les contenants. Prendre une photo du site.
6. Par la suite, fractionner chacun des échantillons en sous-échantillons pour l'analyse de laboratoire (voir la section B - Fractionnement de l'échantillon).

B. Fractionnement de l’échantillon

Afin de réduire les échantillons en sous-échantillons de taille adéquate pour l’analyse de laboratoire, ceux-ci doivent être fractionnés à l’aide d’une méthode standard. Par exemple, l’annexe C.2 de l’AP-42 propose le quartage de l’échantillon. Selon la granulométrie de l’échantillon, il est possible que cette méthode ne soit pas applicable pour la fraction grossière. Par exemple, l’AP-42 suggère de séparer et peser le matériel >0,6 mm avant d’effectuer le quartage.

La méthode est décrite ci-dessous :

1. Au site d’échantillonnage ou par la suite, vider le contenu de l’échantillon sur une toile de plastique ou sur une surface adéquate (verre, téflon, plexiglas, etc.).
2. Mélanger l’échantillon et former un cône.
3. Aplatir le cône en appuyant sur le dessus sans mélanger davantage.
4. Divisez la pile circulaire plate en quarts égaux en coupant ou en raclant deux lignes droites à angle droit.
5. Disposer de deux quartiers opposés et combiner les deux quartiers restants.
6. Répétez l’opération au besoin jusqu’à ce que l’échantillon soit réduit à une taille de 0,4 à 1,8 kg.
7. Afin de créer un duplicata, un quart complet peut être utilisé comme échantillon et le quart opposé pourra servir de duplicata.
8. Placer ces sous-échantillons dans des contenants étanches de 400 ml, dotés d’un intérieur en polyéthylène ou en installant un sac résistant en polyéthylène. La numérotation des échantillons devra être dotée d’un élément permettant de lier chacune des chaudières avec leur contenant de 400 ml associé.

FORMULAIRE DE PRISE DES DONNÉES

Plan d'échantillonnage des surfaces de sol pour la silice cristalline

Identification de l'échantillon	Date	Heure	Localisation		Masse approximative
			LAT	LONG	kg

ANNEXE B

Photos d’échantillonnage

Photo 1 : Échantillonnage de route

Photo 2 : Échantillonnage de route

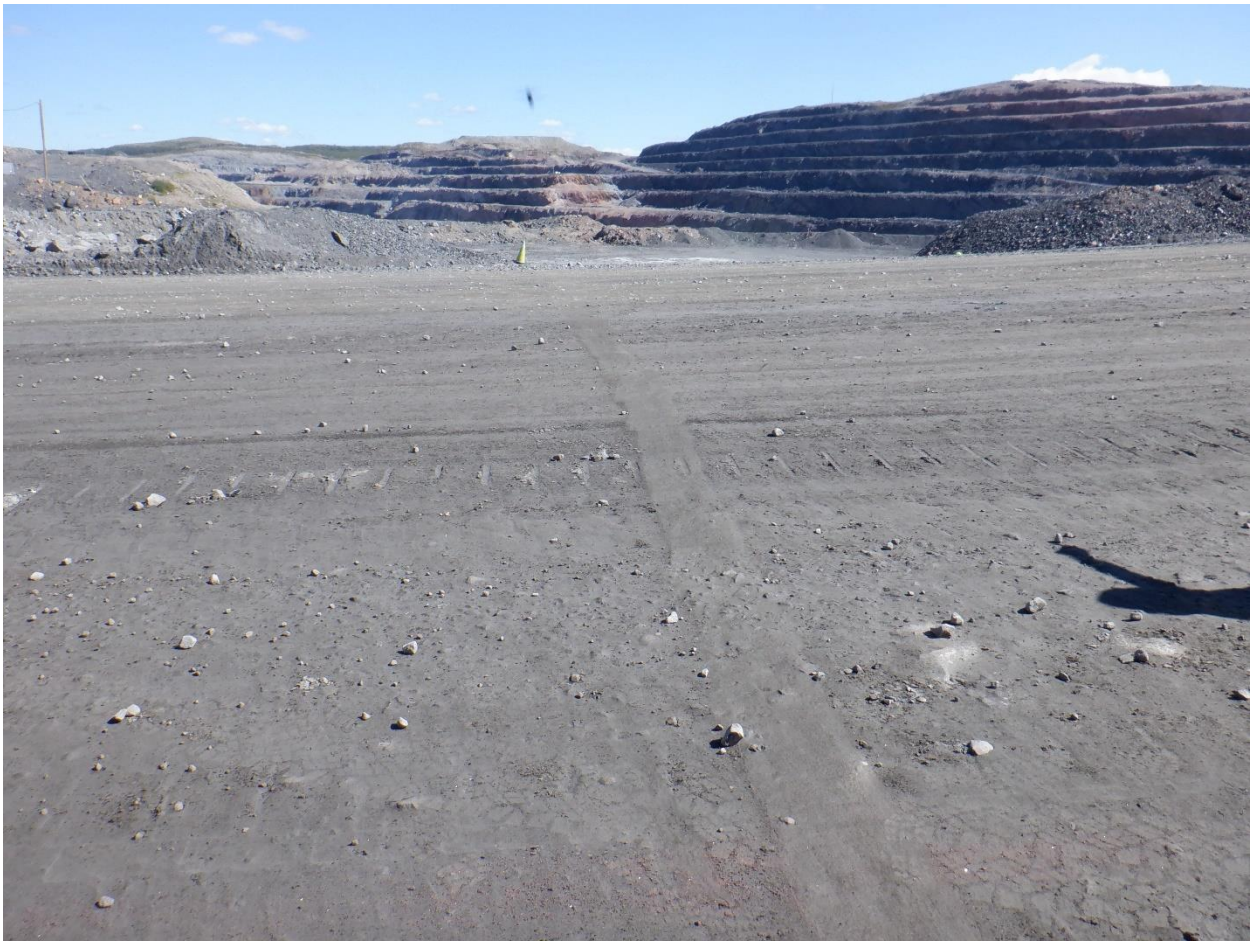


Photo 3 : Échantillonnage de route

ANNEXE C

Certificats d’analyse

RJ LEE GROUP
DELIVERING SCIENTIFIC RESOLUTION

LABORATORY REPORT - Rev. 01
Revised report to display samples specified by customer.

WSP Canada INC.
1600, boul. René-Lévesque Ouest, 11e étage
Montréal, Québec, H3H 1P9 Canada
ATTENTION: Sylvain Marcoux
Telephone: 514-340-0046

Report Date:	September 26, 2022
Samples Received:	August 26, 2022
RJ Lee Group Job No.:	CXH1067296-0
Client Project No.:	ENV-MTL-2469
	221-06731-06
Purchase Order No.:	WSPRJLEE-02

ANALYSIS: Total and Respirable Crystalline Silica
METHODS: X-Ray Diffraction (XRD) and Computer-Controlled Scanning Electron Microscopy (CCSEM)

Samples were received at RJ Lee Group in good condition. Each dried sample was sieved with a 75 µm sieve. A split of the <75 µm sample was sieved with a 45 µm sieve. The <75 µm and < 45 µm portions of each sample were mixed with calcium fluoride (CaF_2) as an internal standard, ground, and backloaded into a standard XRD holder. The samples were scanned using standard run parameters on a PANalytical X'Pert Pro diffractometer equipped with copper radiation. The weight percentage of silica was calculated through the use of the internal standard and calibration coefficients derived from standards NBS – 1878b quartz, NBS - 1879a cristobalite, and NIOSH/IITRI TY 27 tridymite mixed with CaF_2. A portion of each unground < 45 µm material was examined by CCSEM to determine particle sizing. The percentage respirable quartz is determined by multiplying the appropriate size fraction by the percentage quartz determined by XRD.

Sample Identification		Respirable Silica in Bulk*			
Client	RJ Lee Group	<2.5µm (weight %)	<4µm (weight %)	<10µm (weight %)	<75µm (weight %)
MFQ-route220809-1-1	10570246	< 0.01	0.02	0.04	0.7
MFQ-route220809-1-2	10570247	< 0.01	0.03	0.08	0.9
MFQ-route220809-1-3	10570248	< 0.01	< 0.01	0.03	0.6
MFQ-route220809-2-1	10570249	< 0.01	0.08	0.13	0.7
MFQ-route220809-2-2	10570250	0.01	0.05	0.11	1.0
MFQ-route220809-2-3	10570251	< 0.01	< 0.01	0.01	0.7
MFQ-route220809-3-1	10570252	< 0.01	0.04	0.07	0.8
MFQ-route220809-3-2	10570253	0.01	0.04	0.04	1.1
MFQ-route220809-3-3	10570254	< 0.01	0.02	0.06	1.2

*tridymite was not detected, cristobalite could not be determined due to the presence of feldspar(s).

ANALYSIS: Percent Moisture Determination

A portion of each sample was dried at 60°C overnight. The samples were weighed before and after heating to determine the percent moisture loss.

Sample Identification		% Moisture
Client	RJ Lee Group	(Weight %)
MFQ-route220809-1-1	10570246	1.6
MFQ-route220809-1-2	10570247	1.3
MFQ-route220809-1-3	10570248	1.6
MFQ-route220809-2-1	10570249	0.7
MFQ-route220809-2-2	10570250	0.5
MFQ-route220809-2-3	10570251	0.8
MFQ-route220809-3-1	10570252	0.1
MFQ-route220809-3-2	10570253	0.2
MFQ-route220809-3-3	10570254	0.2

These results are submitted pursuant to RJ Lee Group's current terms and conditions of sale, including the company's standard warranty and limitation of liability provisions. No responsibility or liability is assumed for the manner in which the results are used or interpreted. The results contained in this report relate only to the items tested or to the sample(s) as received by the laboratory. Data supplied by the client that can affect the validity of the results has been clearly identified. Measurement of uncertainty data available upon request. Any reproduction of this document must be in full for the report to be valid. Unless notified to return the samples covered by this report, RJ Lee Group will store them for a period of thirty (30) days before discarding.
This laboratory operates in accord with ISO 17025:2017 guidelines and holds a limited scope of accreditation. Please refer to http://www.rjlg.com/about-us/accreditations/ for more information and current status.

Please feel free to contact us should you have any questions regarding this analysis or if we can be of further assistance to you.

Sincerely,

Brian Chelko, Scientist

ACCREDITED
CERT #3985.01

RJ LEE GROUP
DELIVERING SCIENTIFIC RESOLUTION

LABORATORY REPORT - Rev. 01
Revised report to display samples specified by customer.

September 26, 2022

Sylvain Marcoux
WSP Canada
1600 Rene-Levesque Blvd. West
16th Floor
Montreal Quebec, H3H 1P9 Canada

Re: RJ Lee Group Project No. CXH1067296-1

Dear Sylvain Marcoux,

At your request the following samples were analyzed for Particle Size Distribution (PSD):

RJLG Sample ID	Client Sample ID	Date Received	Analysis Requested
10570246	MFQ-route220809-1-1	08/26/2022	PSD
10570247	MFQ-route220809-1-2	08/26/2022	PSD
10570248	MFQ-route220809-1-3	08/26/2022	PSD
10570249	MFQ-route220809-2-1	08/26/2022	PSD
10570250	MFQ-route220809-2-2	08/26/2022	PSD
10570251	MFQ-route220809-2-3	08/26/2022	PSD
10570252	MFQ-route220809-3-1	08/26/2022	PSD
10570253	MFQ-route220809-3-2	08/26/2022	PSD
10570254	MFQ-route220809-3-3	08/26/2022	PSD

The PSD was completed using a Horiba LA-910 laser diffraction particle size analyzer. The samples were dispersed in 50/50 Glycerin/DIUF (de-ionized ultra-filtered water) for analysis. The results are summarized below as median and mean values, graphically and numerically as frequency distributions.

These results are submitted pursuant to RJ Lee Group's current terms and conditions of sale, including the company's standard warranty and limitation of liability provisions. No responsibility or liability is assumed for the manner in which the results are used or interpreted. This test report is not to be reproduced except in full, without written approval of the laboratory. Unless notified to return the samples covered in this report, RJ Lee Group will store them for a period of thirty (30) days before discarding.

Should you have any questions regarding this information, please do not hesitate to contact me.

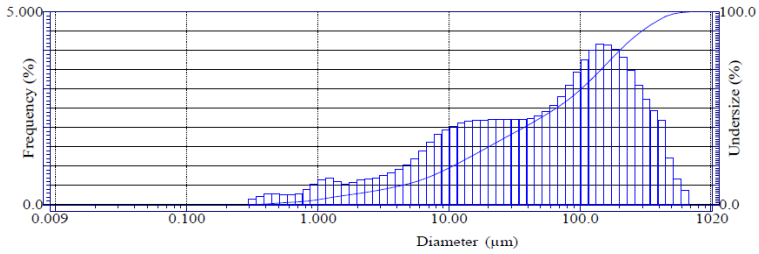
Sincerely,

Brian Chelko
Scientist

Sample: 10570246
(MFQ-route220809-1-1)

- Analysis Date: 08/30/2022
- Median: 65.8175 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 4.3636 µm
  (2) 50.00% - 65.8175 µm
  (3) 90.00% - 295.9427 µm
- Mean: 112.2385 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



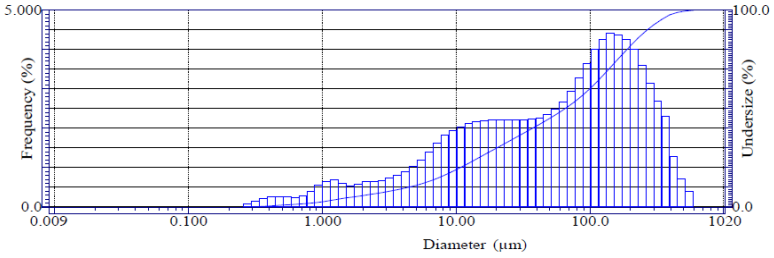
Sample: 10570246 (MFQ-route220809-1-1) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.387	2.105	34.255	2.207	38.724
0.026	0.000	0.000	1.005	0.541	2.646	39.234	2.218	40.942
0.029	0.000	0.000	1.151	0.642	3.287	44.938	2.245	43.187
0.034	0.000	0.000	1.318	0.684	3.971	51.471	2.306	45.493
0.039	0.000	0.000	1.510	0.605	4.576	58.953	2.415	47.907
0.044	0.000	0.000	1.729	0.538	5.115	67.523	2.579	50.486
0.051	0.000	0.000	1.981	0.576	5.691	77.339	2.813	53.299
0.058	0.000	0.000	2.269	0.653	6.344	88.583	3.104	56.403
0.067	0.000	0.000	2.599	0.656	7.000	101.460	3.433	59.836
0.076	0.000	0.000	2.976	0.685	7.685	116.210	3.757	63.594
0.087	0.000	0.000	3.409	0.748	8.433	133.103	4.012	67.606
0.100	0.000	0.000	3.905	0.822	9.254	152.453	4.158	71.764
0.115	0.000	0.000	4.472	0.910	10.165	174.616	4.144	75.908
0.131	0.000	0.000	5.122	1.041	11.206	200.000	4.031	79.939
0.150	0.000	0.000	5.867	1.195	12.401	229.075	3.820	83.758
0.172	0.000	0.000	6.720	1.399	13.800	262.376	3.487	87.245
0.197	0.000	0.000	7.697	1.625	15.425	300.518	3.106	90.351
0.226	0.000	0.000	8.816	1.822	17.247	344.206	2.740	93.091
0.259	0.000	0.000	10.097	1.947	19.194	394.244	2.445	95.536
0.296	0.000	0.000	11.565	2.039	21.232	451.556	2.193	97.729
0.339	0.151	0.151	13.246	2.113	23.346	517.200	1.218	98.947
0.389	0.217	0.368	15.172	2.167	25.512	592.387	0.677	99.624
0.445	0.270	0.638	17.377	2.195	27.707	678.504	0.376	100.000
0.510	0.282	0.920	19.904	2.201	29.908	777.141	0.000	100.000
0.584	0.263	1.184	22.797	2.201	32.109	890.116	0.000	100.000
0.669	0.251	1.435	26.111	2.202	34.312	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.283	1.717	29.907	2.205	36.516	1020.000	0.000	100.000

Sample: 10570247
(MFQ-route220809-1-2)

- Analysis Date: 08/30/2022
- Median: 65.1835 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 4.3785 µm
  (2) 50.00% - 65.1835 µm
  (3) 90.00% - 268.3828 µm
- Mean: 104.3994 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



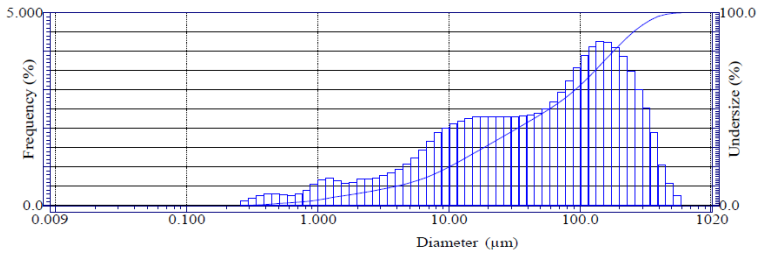
Sample: 10570247 (MFQ-route220809-1-2) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.391	2.151	34.255	2.214	38.702
0.026	0.000	0.000	1.005	0.546	2.697	39.234	2.230	40.932
0.029	0.000	0.000	1.151	0.644	3.340	44.938	2.266	43.199
0.034	0.000	0.000	1.318	0.683	4.023	51.471	2.344	45.543
0.039	0.000	0.000	1.510	0.603	4.627	58.953	2.477	48.020
0.044	0.000	0.000	1.729	0.536	5.162	67.523	2.675	50.695
0.051	0.000	0.000	1.981	0.571	5.733	77.339	2.948	53.643
0.058	0.000	0.000	2.269	0.643	6.377	88.583	3.282	56.925
0.067	0.000	0.000	2.599	0.646	7.022	101.460	3.648	60.573
0.076	0.000	0.000	2.976	0.673	7.696	116.210	3.997	64.570
0.087	0.000	0.000	3.409	0.736	8.431	133.103	4.265	68.835
0.100	0.000	0.000	3.905	0.810	9.241	152.453	4.410	73.245
0.115	0.000	0.000	4.472	0.899	10.140	174.616	4.383	77.628
0.131	0.000	0.000	5.122	1.031	11.171	200.000	4.245	81.873
0.150	0.000	0.000	5.867	1.186	12.357	229.075	3.997	85.870
0.172	0.000	0.000	6.720	1.390	13.747	262.376	3.606	89.476
0.197	0.000	0.000	7.697	1.618	15.365	300.518	3.143	92.619
0.226	0.000	0.000	8.816	1.817	17.182	344.206	2.686	95.305
0.259	0.000	0.000	10.097	1.945	19.127	394.244	2.306	97.611
0.296	0.074	0.074	11.565	2.040	21.167	451.556	1.281	98.893
0.339	0.157	0.231	13.246	2.117	23.284	517.200	0.712	99.605
0.389	0.217	0.448	15.172	2.172	25.456	592.387	0.395	100.000
0.445	0.262	0.709	17.377	2.201	27.658	678.504	0.000	100.000
0.510	0.269	0.979	19.904	2.207	29.865	777.141	0.000	100.000
0.584	0.253	1.232	22.797	2.207	32.071	890.116	0.000	100.000
0.669	0.246	1.477	26.111	2.207	34.279	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.282	1.759	29.907	2.210	36.488	1020.000	0.000	100.000

Sample: 10570248
(MFQ-route220809-1-3)

- Analysis Date: 08/30/2022
- Median: 58.2451 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 3.9404 µm
  (2) 50.00% - 58.2451 µm
  (3) 90.00% - 255.7224 µm
- Mean: 98.3861 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



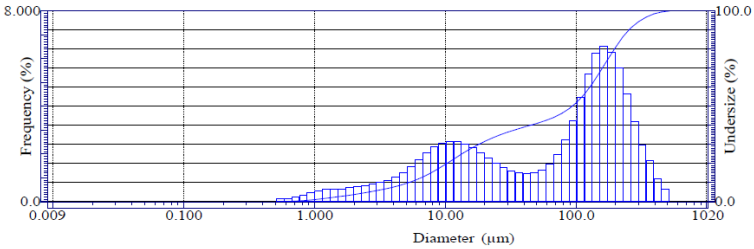
Sample: 10570248 (MFQ-route220809-1-3) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.406	2.408	34.255	2.312	40.651
0.026	0.000	0.000	1.005	0.566	2.973	39.234	2.318	42.969
0.029	0.000	0.000	1.151	0.672	3.646	44.938	2.340	45.308
0.034	0.000	0.000	1.318	0.720	4.366	51.471	2.401	47.709
0.039	0.000	0.000	1.510	0.639	5.005	58.953	2.515	50.224
0.044	0.000	0.000	1.729	0.569	5.573	67.523	2.690	52.914
0.051	0.000	0.000	1.981	0.610	6.183	77.339	2.939	55.853
0.058	0.000	0.000	2.269	0.691	6.875	88.583	3.243	59.096
0.067	0.000	0.000	2.599	0.694	7.569	101.460	3.576	62.672
0.076	0.000	0.000	2.976	0.722	8.291	116.210	3.892	66.564
0.087	0.000	0.000	3.409	0.786	9.077	133.103	4.132	70.696
0.100	0.000	0.000	3.905	0.860	9.936	152.453	4.257	74.952
0.115	0.000	0.000	4.472	0.947	10.883	174.616	4.232	79.184
0.131	0.000	0.000	5.122	1.080	11.963	200.000	4.108	83.292
0.150	0.000	0.000	5.867	1.236	13.199	229.075	3.877	87.168
0.172	0.000	0.000	6.720	1.445	14.643	262.376	3.492	90.661
0.197	0.000	0.000	7.697	1.678	16.321	300.518	3.016	93.677
0.226	0.000	0.000	8.816	1.884	18.205	344.206	2.521	96.198
0.259	0.000	0.000	10.097	2.017	20.222	394.244	1.903	98.101
0.296	0.125	0.125	11.565	2.116	22.338	451.556	1.057	99.158
0.339	0.185	0.310	13.246	2.199	24.537	517.200	0.587	99.745
0.389	0.253	0.563	15.172	2.261	26.797	592.387	0.255	100.000
0.445	0.299	0.862	17.377	2.296	29.093	678.504	0.000	100.000
0.510	0.302	1.164	19.904	2.307	31.400	777.141	0.000	100.000
0.584	0.278	1.442	22.797	2.311	33.712	890.116	0.000	100.000
0.669	0.263	1.705	26.111	2.313	36.025	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.296	2.001	29.907	2.314	38.339	1020.000	0.000	100.000

Sample: 10570249
(MFQ-route220809-2-1)

- Analysis Date: 09/08/2022
- Median: 93.0583 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 5.2359 µm
  (2) 50.00% - 93.0583 µm
  (3) 90.00% - 254.1950 µm
- Mean: 110.0826 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



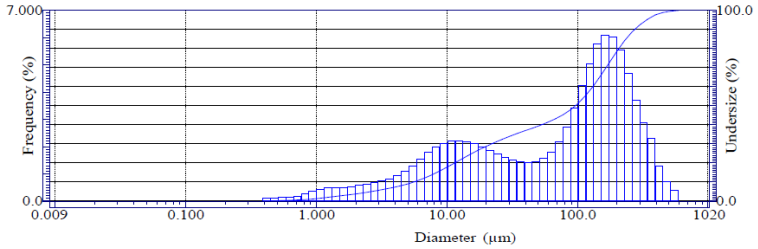
Sample: 10570249 (MFQ-route220809-2-1) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.280	0.721	34.255	1.293	37.738
0.026	0.000	0.000	1.005	0.389	1.110	39.234	1.202	38.940
0.029	0.000	0.000	1.151	0.468	1.577	44.938	1.166	40.106
0.034	0.000	0.000	1.318	0.514	2.092	51.471	1.202	41.309
0.039	0.000	0.000	1.510	0.515	2.606	58.953	1.329	42.638
0.044	0.000	0.000	1.729	0.530	3.136	67.523	1.571	44.209
0.051	0.000	0.000	1.981	0.585	3.721	77.339	1.976	46.185
0.058	0.000	0.000	2.269	0.648	4.369	88.583	2.580	48.765
0.067	0.000	0.000	2.599	0.679	5.048	101.460	3.400	52.166
0.076	0.000	0.000	2.976	0.738	5.786	116.210	4.380	56.545
0.087	0.000	0.000	3.409	0.819	6.604	133.103	5.353	61.898
0.100	0.000	0.000	3.905	0.904	7.508	152.453	6.221	68.119
0.115	0.000	0.000	4.472	1.035	8.543	174.616	6.505	74.624
0.131	0.000	0.000	5.122	1.221	9.765	200.000	6.279	80.903
0.150	0.000	0.000	5.867	1.457	11.222	229.075	5.626	86.529
0.172	0.000	0.000	6.720	1.749	12.970	262.376	4.527	91.057
0.197	0.000	0.000	7.697	2.054	15.024	300.518	3.355	94.411
0.226	0.000	0.000	8.816	2.308	17.333	344.206	2.388	96.800
0.259	0.000	0.000	10.097	2.465	19.798	394.244	1.717	98.516
0.296	0.000	0.000	11.565	2.535	22.333	451.556	0.954	99.470
0.339	0.000	0.000	13.246	2.525	24.858	517.200	0.530	100.000
0.389	0.000	0.000	15.172	2.430	27.289	592.387	0.000	100.000
0.445	0.000	0.000	17.377	2.259	29.548	678.504	0.000	100.000
0.510	0.000	0.000	19.904	2.041	31.589	777.141	0.000	100.000
0.584	0.113	0.113	22.797	1.816	33.405	890.116	0.000	100.000
0.669	0.138	0.252	26.111	1.609	35.013	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.190	0.441	29.907	1.432	36.445	1020.000	0.000	100.000

Sample: 10570250
(MFQ-route220809-2-2)

- Analysis Date: 09/08/2022
- Median: 96.0794 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 5.5507 µm
  (2) 50.00% - 96.0794 µm
  (3) 90.00% - 274.3898µm
- Mean: 117.7005 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



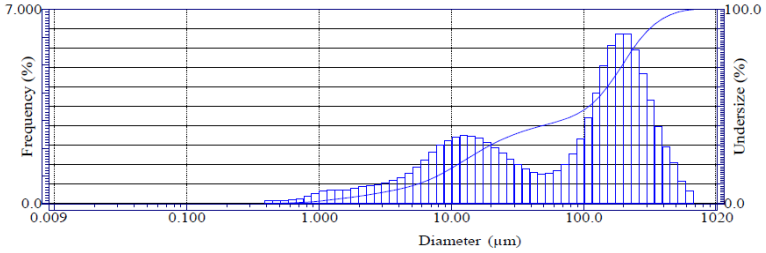
Sample: 10570250 (MFQ-route220809-2-2) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.265	0.959	34.255	1.509	35.363
0.026	0.000	0.000	1.005	0.366	1.325	39.234	1.443	36.806
0.029	0.000	0.000	1.151	0.442	1.767	44.938	1.419	38.225
0.034	0.000	0.000	1.318	0.487	2.254	51.471	1.459	39.684
0.039	0.000	0.000	1.510	0.474	2.728	58.953	1.580	41.264
0.044	0.000	0.000	1.729	0.479	3.207	67.523	1.807	43.071
0.051	0.000	0.000	1.981	0.532	3.739	77.339	2.176	45.248
0.058	0.000	0.000	2.269	0.596	4.335	88.583	2.710	47.958
0.067	0.000	0.000	2.599	0.621	4.956	101.460	3.412	51.370
0.076	0.000	0.000	2.976	0.676	5.631	116.210	4.233	55.603
0.087	0.000	0.000	3.409	0.748	6.380	133.103	5.049	60.651
0.100	0.000	0.000	3.905	0.822	7.201	152.453	5.785	66.437
0.115	0.000	0.000	4.472	0.936	8.137	174.616	6.093	72.530
0.131	0.000	0.000	5.122	1.096	9.234	200.000	6.011	78.541
0.150	0.000	0.000	5.867	1.295	10.528	229.075	5.554	84.095
0.172	0.000	0.000	6.720	1.538	12.066	262.376	4.684	88.779
0.197	0.000	0.000	7.697	1.791	13.858	300.518	3.701	92.480
0.226	0.000	0.000	8.816	2.000	15.858	344.206	2.863	95.343
0.259	0.000	0.000	10.097	2.130	17.988	394.244	2.287	97.631
0.296	0.000	0.000	11.565	2.200	20.187	451.556	1.271	98.902
0.339	0.000	0.000	13.246	2.220	22.407	517.200	0.706	99.608
0.389	0.000	0.000	15.172	2.186	24.593	592.387	0.392	100.000
0.445	0.116	0.116	17.377	2.101	26.695	678.504	0.000	100.000
0.510	0.125	0.241	19.904	1.981	28.676	777.141	0.000	100.000
0.584	0.128	0.369	22.797	1.850	30.526	890.116	0.000	100.000
0.669	0.142	0.511	26.111	1.722	32.248	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.183	0.694	29.907	1.606	33.854	1020.000	0.000	100.000

Sample: 10570251
(MFQ-route220809-2-3)

- Analysis Date: 09/08/2022
- Median: 108.6814 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 5.4922 µm
  (2) 50.00% - 108.6814 µm
  (3) 90.00% - 315.1136 µm
- Mean: 133.4304 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



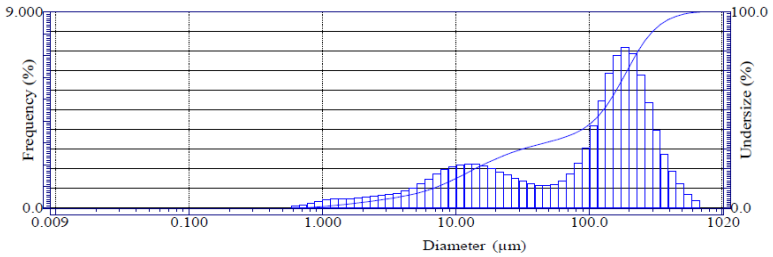
Sample: 10570251 (MFQ-route220809-2-3) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.261	0.953	34.255	1.416	37.124
0.026	0.000	0.000	1.005	0.366	1.319	39.234	1.253	38.377
0.029	0.000	0.000	1.151	0.446	1.765	44.938	1.134	39.511
0.034	0.000	0.000	1.318	0.496	2.261	51.471	1.076	40.587
0.039	0.000	0.000	1.510	0.484	2.746	58.953	1.091	41.677
0.044	0.000	0.000	1.729	0.490	3.235	67.523	1.194	42.871
0.051	0.000	0.000	1.981	0.546	3.781	77.339	1.417	44.288
0.058	0.000	0.000	2.269	0.612	4.393	88.583	1.791	46.079
0.067	0.000	0.000	2.599	0.634	5.027	101.460	2.349	48.428
0.076	0.000	0.000	2.976	0.687	5.713	116.210	3.103	51.531
0.087	0.000	0.000	3.409	0.756	6.469	133.103	3.994	55.525
0.100	0.000	0.000	3.905	0.823	7.293	152.453	4.981	60.506
0.115	0.000	0.000	4.472	0.937	8.230	174.616	5.702	66.208
0.131	0.000	0.000	5.122	1.099	9.329	200.000	6.119	72.327
0.150	0.000	0.000	5.867	1.306	10.635	229.075	6.130	78.457
0.172	0.000	0.000	6.720	1.566	12.201	262.376	5.561	84.018
0.197	0.000	0.000	7.697	1.849	14.051	300.518	4.684	88.702
0.226	0.000	0.000	8.816	2.097	16.148	344.206	3.716	92.417
0.259	0.000	0.000	10.097	2.274	18.422	394.244	2.784	95.202
0.296	0.000	0.000	11.565	2.391	20.814	451.556	2.041	97.242
0.339	0.000	0.000	13.246	2.453	23.267	517.200	1.479	98.722
0.389	0.000	0.000	15.172	2.444	25.711	592.387	0.822	99.543
0.445	0.119	0.119	17.377	2.356	28.067	678.504	0.457	100.000
0.510	0.126	0.245	19.904	2.204	30.271	777.141	0.000	100.000
0.584	0.128	0.373	22.797	2.016	32.287	890.116	0.000	100.000
0.669	0.140	0.513	26.111	1.813	34.100	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.179	0.692	29.907	1.608	35.708	1020.000	0.000	100.000

Sample: 10570252
(MFQ-route220809-3-1)

- Analysis Date: 09/08/2022
- Median: 127.8673 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 6.7080 µm
  (2) 50.00% - 127.8673 µm
  (3) 90.00% - 299.4994 µm
- Mean: 139.0092 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



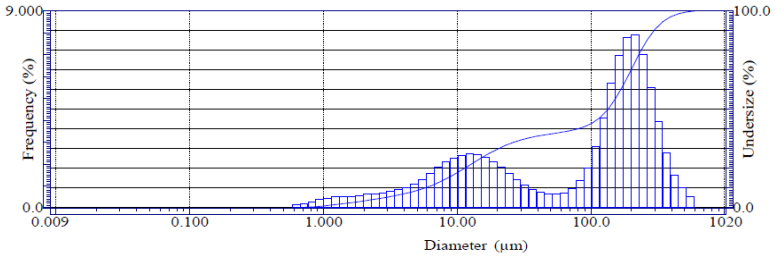
Sample: 10570252 (MFQ-route220809-3-1) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.222	0.486	34.255	1.234	30.837
0.026	0.000	0.000	1.005	0.312	0.798	39.234	1.126	31.963
0.029	0.000	0.000	1.151	0.379	1.177	44.938	1.056	33.019
0.034	0.000	0.000	1.318	0.417	1.594	51.471	1.042	34.061
0.039	0.000	0.000	1.510	0.425	2.019	58.953	1.100	35.162
0.044	0.000	0.000	1.729	0.441	2.460	67.523	1.256	36.417
0.051	0.000	0.000	1.981	0.475	2.935	77.339	1.554	37.971
0.058	0.000	0.000	2.269	0.514	3.449	88.583	2.042	40.013
0.067	0.000	0.000	2.599	0.534	3.983	101.460	2.770	42.783
0.076	0.000	0.000	2.976	0.574	4.558	116.210	3.755	46.538
0.087	0.000	0.000	3.409	0.632	5.189	133.103	4.915	51.453
0.100	0.000	0.000	3.905	0.692	5.881	152.453	6.190	57.643
0.115	0.000	0.000	4.472	0.787	6.669	174.616	7.031	64.674
0.131	0.000	0.000	5.122	0.924	7.593	200.000	7.361	72.036
0.150	0.000	0.000	5.867	1.102	8.694	229.075	7.099	79.134
0.172	0.000	0.000	6.720	1.323	10.017	262.376	6.128	85.262
0.197	0.000	0.000	7.697	1.559	11.576	300.518	4.860	90.122
0.226	0.000	0.000	8.816	1.764	13.340	344.206	3.595	93.716
0.259	0.000	0.000	10.097	1.907	15.247	394.244	2.483	96.199
0.296	0.000	0.000	11.565	1.996	17.242	451.556	1.673	97.873
0.339	0.000	0.000	13.246	2.034	19.276	517.200	1.141	99.014
0.389	0.000	0.000	15.172	2.015	21.292	592.387	0.634	99.648
0.445	0.000	0.000	17.377	1.938	23.230	678.504	0.352	100.000
0.510	0.000	0.000	19.904	1.816	25.046	777.141	0.000	100.000
0.584	0.000	0.000	22.797	1.670	26.716	890.116	0.000	100.000
0.669	0.111	0.111	26.111	1.518	28.234	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.153	0.263	29.907	1.369	29.603	1020.000	0.000	100.000

Sample: 10570253
(MFQ-route220809-3-2)

- Analysis Date: 09/08/2022
- Median: 133.7583 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 5.7027 µm
  (2) 50.00% - 133.7583 µm
  (3) 90.00% - 295.8011 µm
- Mean: 136.2671 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



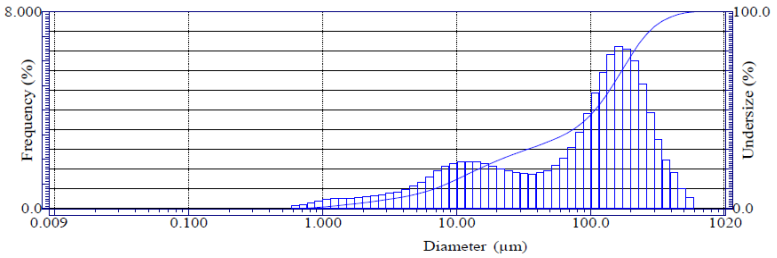
Sample: 10570253 (MFQ-route220809-3-2) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.262	0.563	34.255	1.038	35.489
0.026	0.000	0.000	1.005	0.367	0.930	39.234	0.841	36.330
0.029	0.000	0.000	1.151	0.443	1.373	44.938	0.703	37.033
0.034	0.000	0.000	1.318	0.487	1.860	51.471	0.629	37.662
0.039	0.000	0.000	1.510	0.498	2.358	58.953	0.621	38.284
0.044	0.000	0.000	1.729	0.519	2.877	67.523	0.691	38.975
0.051	0.000	0.000	1.981	0.563	3.440	77.339	0.874	39.849
0.058	0.000	0.000	2.269	0.612	4.051	88.583	1.227	41.076
0.067	0.000	0.000	2.599	0.637	4.689	101.460	1.838	42.914
0.076	0.000	0.000	2.976	0.684	5.373	116.210	2.794	45.708
0.087	0.000	0.000	3.409	0.751	6.124	133.103	4.086	49.794
0.100	0.000	0.000	3.905	0.822	6.946	152.453	5.700	55.494
0.115	0.000	0.000	4.472	0.932	7.878	174.616	6.951	62.445
0.131	0.000	0.000	5.122	1.093	8.971	200.000	7.769	70.214
0.150	0.000	0.000	5.867	1.302	10.272	229.075	7.923	78.136
0.172	0.000	0.000	6.720	1.565	11.837	262.376	6.996	85.132
0.197	0.000	0.000	7.697	1.848	13.686	300.518	5.510	90.642
0.226	0.000	0.000	8.816	2.101	15.786	344.206	3.926	94.568
0.259	0.000	0.000	10.097	2.283	18.069	394.244	2.491	97.059
0.296	0.000	0.000	11.565	2.402	20.471	451.556	1.505	98.564
0.339	0.000	0.000	13.246	2.458	22.928	517.200	0.923	99.487
0.389	0.000	0.000	15.172	2.430	25.358	592.387	0.513	100.000
0.445	0.000	0.000	17.377	2.306	27.665	678.504	0.000	100.000
0.510	0.000	0.000	19.904	2.100	29.765	777.141	0.000	100.000
0.584	0.000	0.000	22.797	1.842	31.606	890.116	0.000	100.000
0.669	0.124	0.124	26.111	1.560	33.167	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.177	0.301	29.907	1.284	34.451	1020.000	0.000	100.000

Sample: 10570254
(MFQ-route220809-3-3)

- Analysis Date: 09/08/2022
- Median: 107.6282 µm
- Diameter on %: (1) 10.00% - 6.7715 µm
  (2) 50.00% - 107.6282 µm
  (3) 90.00% - 275.4778 µm
- Mean: 124.6990 µm
- Distribution Base: Volume
- Form of Distribution: Standard
- Run Number Average of: 3 Runs
- Dispersant: 50/50 Glycerin/DIUF

Volume % Distribution



Sample: 10570254 (MFQ-route220809-3-3) Cont.

Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)	Diameter (µm)	Frequency (%)	Undersize (%)
0.022	0.000	0.000	0.877	0.228	0.497	34.255	1.422	30.273
0.026	0.000	0.000	1.005	0.318	0.815	39.234	1.415	31.689
0.029	0.000	0.000	1.151	0.385	1.200	44.938	1.453	33.142
0.034	0.000	0.000	1.318	0.423	1.623	51.471	1.556	34.698
0.039	0.000	0.000	1.510	0.419	2.042	58.953	1.745	36.443
0.044	0.000	0.000	1.729	0.426	2.468	67.523	2.045	38.488
0.051	0.000	0.000	1.981	0.464	2.932	77.339	2.492	40.980
0.058	0.000	0.000	2.269	0.508	3.441	88.583	3.102	44.082
0.067	0.000	0.000	2.599	0.525	3.966	101.460	3.865	47.948
0.076	0.000	0.000	2.976	0.566	4.532	116.210	4.720	52.668
0.087	0.000	0.000	3.409	0.623	5.154	133.103	5.543	58.210
0.100	0.000	0.000	3.905	0.682	5.836	152.453	6.262	64.472
0.115	0.000	0.000	4.472	0.777	6.613	174.616	6.574	71.047
0.131	0.000	0.000	5.122	0.913	7.526	200.000	6.491	77.538
0.150	0.000	0.000	5.867	1.087	8.612	229.075	6.011	83.549
0.172	0.000	0.000	6.720	1.302	9.914	262.376	5.056	88.605
0.197	0.000	0.000	7.697	1.527	11.441	300.518	3.887	92.491
0.226	0.000	0.000	8.816	1.716	13.157	344.206	2.804	95.296
0.259	0.000	0.000	10.097	1.837	14.994	394.244	1.984	97.280
0.296	0.000	0.000	11.565	1.902	16.896	451.556	1.459	98.739
0.339	0.000	0.000	13.246	1.920	18.816	517.200	0.811	99.550
0.389	0.000	0.000	15.172	1.890	20.705	592.387	0.450	100.000
0.445	0.000	0.000	17.377	1.816	22.522	678.504	0.000	100.000
0.510	0.000	0.000	19.904	1.718	24.240	777.141	0.000	100.000
0.584	0.000	0.000	22.797	1.618	25.858	890.116	0.000	100.000
0.669	0.114	0.114	26.111	1.530	27.388	1019.515	0.000	100.000
0.766	0.155	0.269	29.907	1.463	28.852	1020.000	0.000	100.000

ANNEXE

C

AJUSTEMENT DU MODÈLE DE DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE ET ANALYSE DE SENSIBILITÉ

NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Minerai de fer Québec		
PROJET :	Ajustement du modèle de dispersion atmosphérique et analyse de sensibilité	**Réf. WSP :**	221-06731-04
OBJET :	Étude complémentaire de modélisation de la dispersion atmosphérique	**DATE :**	17 octobre 2022
DESTINATAIRE :	Michel Groleau (MFQ)		

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Minerai de fer Québec (MFQ) a obtenu le 16 février 2022 un décret ministériel afin d'augmenter la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine de fer du lac Bloom (décret 166-2022). Le décret émis dans la Gazette officielle du Québec en date du 16 février 2022 mentionne que MFQ est tenu de respecter la condition suivante (condition 4) en ce qui a trait à la qualité de l'air ambiant :

> *« Minerai de fer Québec Inc. doit tenir un registre des matériaux utilisés pour la construction et l'entretien de la couche de roulement des routes de halage comprenant la date et la zone dans laquelle ils ont été utilisés. Le registre doit démontrer que Minerai de fer Québec Inc. a utilisé seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2% par des résultats d'analyses. Ce registre doit être mis à la disposition du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques sur demande et dans le délai qu'il indique.*
>
> *Il doit également déposer auprès du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques un rapport démontrant qu'il a utilisé seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2% pour la construction de la couche de roulement des routes de halage, au plus tard trois mois après la fin de la construction. Des rapports présentant cette information pour les matériaux utilisés pour l'entretien des routes doivent par la suite être transmis par Minerai de fer Québec Inc. au ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques tous les cinq ans. »*

Il est important de préciser que cette condition a été établie dans le contexte de l'évaluation du critère annuel de qualité de l'atmosphère pour la silice cristalline dans les particules de taille inférieure à 4 µm (PM_4). Plus spécifiquement, cette condition se veut un suivi des paramètres utilisés dans l'estimation des émissions de silice cristalline dans les PM_4 liées au routage dans le cadre de l'étude de modélisation de la dispersion atmosphérique, afin de vérifier que « l'hypothèse d'une teneur de 2 % en SiO_2 dans les stériles d'amphibolite retenue dans la modélisation était réaliste et n'entraîne pas une sous-estimation des concentrations attendues de SiO_2 dans l'air ambiant aux récepteurs sensibles. » (MELCC, 2021).

Afin de vérifier la conformité à cette condition, des études complémentaires d'analyse des teneurs en silice cristalline ont été effectuées pour les matériaux disponibles pour la construction et l'entretien des routes (Golder, 2022), ainsi que de la surface de roulement des routes de la mine (WSP, 2022). Les résultats de ces études présentent des teneurs en silice cristalline différentes des hypothèses considérées dans la modélisation et auraient un effet sur les concentrations estimées dans l'air ambiant.

En plus de ces études complémentaires, certaines exigences et recommandations de modélisation de la part du MELCC ont évolué depuis le dépôt de la modélisation, influençant certains paramètres de modélisation.

Dans ce contexte, MFQ souhaite donc étudier la sensibilité de ces nouveaux paramètres et nouvelles études sur les résultats de la plus récente modélisation de la dispersion atmosphérique [La modélisation 2020] (WSP, 2020) de l'étude d'impact 2019. La présente note technique reprend donc la modélisation 2020 pour le critère annuel de la silice cristalline et évalue l'effet de ces nouveaux paramètres sur les résultats de modélisation.

2 MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

2.1 MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION

Puisque l'objectif est d'étudier la sensibilité des nouveaux paramètres et nouvelles études disponibles sur les résultats de la modélisation 2020 de la silice cristalline sur une période annuelle dans l'air ambiant aux récepteurs sensibles, la même configuration du modèle (option du modèle, domaine, récepteurs, topographie, etc.) et le même scénario de modélisation sont considérés dans la présente étude. Plus précisément pour le scénario, la configuration du scénario d'exploitation est reprise intégralement, c'est-à-dire que la position des sources et les taux d'émission de particules avant atténuation et avant l'intégration des teneurs en silice cristalline sont identiques. Ainsi, seuls les paramètres de modélisation qui ont été révisés sont décrits à la section suivante.

2.2 RÉVISION DES PARAMÈTRES DE MODÉLISATION

Les paramètres de modélisation qui ont été modifiés dans la présente étude sont résumés au tableau 1. Une description et justification détaillée de chacun des changements étudiés est donnée dans les sous-sections suivantes correspondantes.

L'effet potentiel des précipitations sur les émissions annuelles des diverses activités minières avait été initialement considéré paramètre à modifier pour l'analyse de sensibilité. Néanmoins, ce paramètre n'a finalement pas été intégré à la modélisation.

Tableau 1 Résumé des paramètres de modélisation révisés

Paramètres		Modélisation 2020 (EIE 2019)	Révision étudiée	Référence/Justification
Données météo		Station Wabush d'ECCC, éloignée du site	Modélisation avec des données locales au site (Station PW, MFQ)	L'enjeu de la représentativité des données météo avait été soulevé lors de l'EIE, mais peu de données étaient disponibles. Aujourd'hui, quatre ans de donnée sont maintenant disponibles à la station sur le site.
Atténuation du routage		Arrosage à l'eau (75 %)	Été : Abat poussières chimiques (80 %)	Nouvel engagement. Taux d'atténuation basé sur le guide de déclaration des émissions de poussières de routes non revêtues d'ECCC. Méthode proposée par le MELCC à la QC2-46 dans le contexte du projet Authier en évaluation.
			Hiver : Atténuation naturelle (85 %)	Taux d'atténuation autorisé par le MELCC dans le contexte du projet Matawinie, Nouveau Monde Graphite dans la mise à jour de la modélisation Septembre 2019.
Teneur en silice cristalline considérée sur les routes	**Teneur**	Teneur estimée, basée sur une note de service géologique (CLIFFS, 2014)	Analyses d'identification minérale quantitative spécifique au site Étude de deux scénarios : Teneur *in situ* de l'amphibolite (Golder, 2022) et teneur dans les PM_4 de la surface de roulement des routes du site de la mine (WSP, 2022)	Amélioration des connaissances géochimiques des matériaux spécifiques au site minier.
	Ratio dans les PM_4	Considéré à 100% de celles des lithologies	Étude de deux scénarios : Ratio de 44% mesuré près de sources fugitives (Richards, 2009) et ratio de 23% découlant d'une analyse spécifique aux routes du site (WSP, 2022)	Méthode utilisée lors de l'évaluation des projets Authier et Nouveau Monde Graphite. Méthode également proposée par le MELCC dans le cadre de l'évaluation du projet de Mine de lithium Baie-James, Galaxy Lithium [*Non publique, en cours d'évaluation*].

2.2.1 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

MFQ opère une station météorologique, la station PW, au sud du site, à proximité de la route 389. La description technique et la localisation de la station sont présentées dans la note technique « *Mine de fer du lac Bloom – Suivi 2022 de la qualité de l'air de la mine du Lac Bloom - Données informationnelles sur les stations météorologiques* », présenté à l'annexe B. Les paramètres mesurés sont la vitesse et la direction des vents ainsi que la température. L'enregistrement des paramètres a démarré le 21 octobre 2017.

Or, bien que l'utilisation de données météorologiques prises sur le site soit préférable, seulement environ un an de données était disponible à la station PW lors du démarrage de la première version de l'étude de dispersion « *Mine de fer du lac Bloom – Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers - Modélisation de la dispersion atmosphérique, Révision 0* » [La modélisation 2019] (WSP, 2019). Dans le cadre de cette étude, une autre source de donnée météo était donc requise afin de satisfaire aux exigences du MELCC.

La station météorologique d'Environnement Canada la plus près du site de l'étude est celle de Wabush (CYWK), située à environ 31 km. Une comparaison a alors été effectuée entre les données de vents des stations Wabush et PW. Cette comparaison a permis d'illustrer des différences majeures dans les profils de vents et, particulièrement, pour les vents inférieurs à 3,3 m/s. Considérant l'importance des vents sur les résultats de la modélisation, il a donc été jugé que la station de Wabush n'était pas représentative du site à l'étude et le modèle WRF, avec en entrée les données ERA5, a été utilisé afin de produire un jeu de données météorologiques plus adéquat. Une justification de l'utilisation des données WRF a également été présentée à la section 5.5.5 du rapport de la modélisation 2019. Enfin, il est important de noter que le MELCC a accepté à plusieurs reprises par le passé l'utilisation de données WRF comme méthodologie dans le cadre de l'évaluation de projets miniers ((SNC, 2019), (WSP, 2018a), (WSP, 2018b)).

À la question QC2-15 de sa deuxième série de questions (MELCC, 2019), le MELCC, jugeant sur des bases qui n'ont pas été rendues publiques que la station de Wabush était représentative, a exigé que la modélisation soit reprise avec celle-ci. Lors d'une rencontre organisée le 6 décembre 2019, les représentants de WSP ont alors présenté au MELCC la comparaison entre les données de vent de la station de Wabush et les données nouvellement disponibles à la station PW. Or malgré les divergences présentées, le MELCC a tout de même maintenu ses exigences et la modélisation de la dispersion atmosphérique a dû être reprise en considérant les données de surfaces de la station de Wabush (WSP, 2020). Bien que l'ajout de plusieurs contraintes opérationnelles pour MFQ découlant directement de cette exigence ait été nécessaire, cette modélisation a finalement été jugée recevable par le MELCC.

De façon générale, il est important de comprendre que l'utilisation de données météorologiques non représentatives peut être préjudiciable. À cet effet, l'US-EPA mentionne d'ailleurs clairement à l'Appendix W, Pt. 51, Section 8.4.2 e) (US-EPA, 2017) que les données météorologiques prises sur le site doivent être privilégiées lorsque de telles données existent :

> *The model user should acquire enough meteorological data to ensure that worst-case meteorological conditions are adequately represented in the model results. The use of 5 years of adequately representative NWS or comparable meteorological data, at least 1 year of site-specific, or at least 3 years of prognostic meteorological data, are required. If 1 year or more, up to 5 years, of site-specific data are available, these data are preferred for use in air quality analyses. […]*

Dans le contexte de la présente étude, un peu plus de quatre années de données météorologiques sont maintenant disponibles à la station PW. La disponibilité des données est illustrée à la figure 1. La comparaison entre les données de vents des stations Wabush et PW a été mise à jour et présentée au MELCC le 13 septembre 2022. Les roses des vents sont reprises dans la présente note technique aux figures 2 et 3, et sont comparées à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson au tableau 2, pour différentes tranches de vitesse des vents.

La distribution des vents à la station Wabush présente donc une corrélation plutôt faible pour l'ensemble des vents (57 %) et une corrélation légèrement négative (-17 %) pour les vents entre 3,5 km/h (1 m/s) et 11,5 km/h (3,2 m/s). De façon générale, la distribution des vents pour les données ERA5 et ERA5-Land présente une meilleure

corrélation. L'analyse montre à nouveau que les données de la station de Wabush ne sont pas représentatives du site à l'étude et corrobore ce qui avait été initialement présenté au MELCC en 2019.

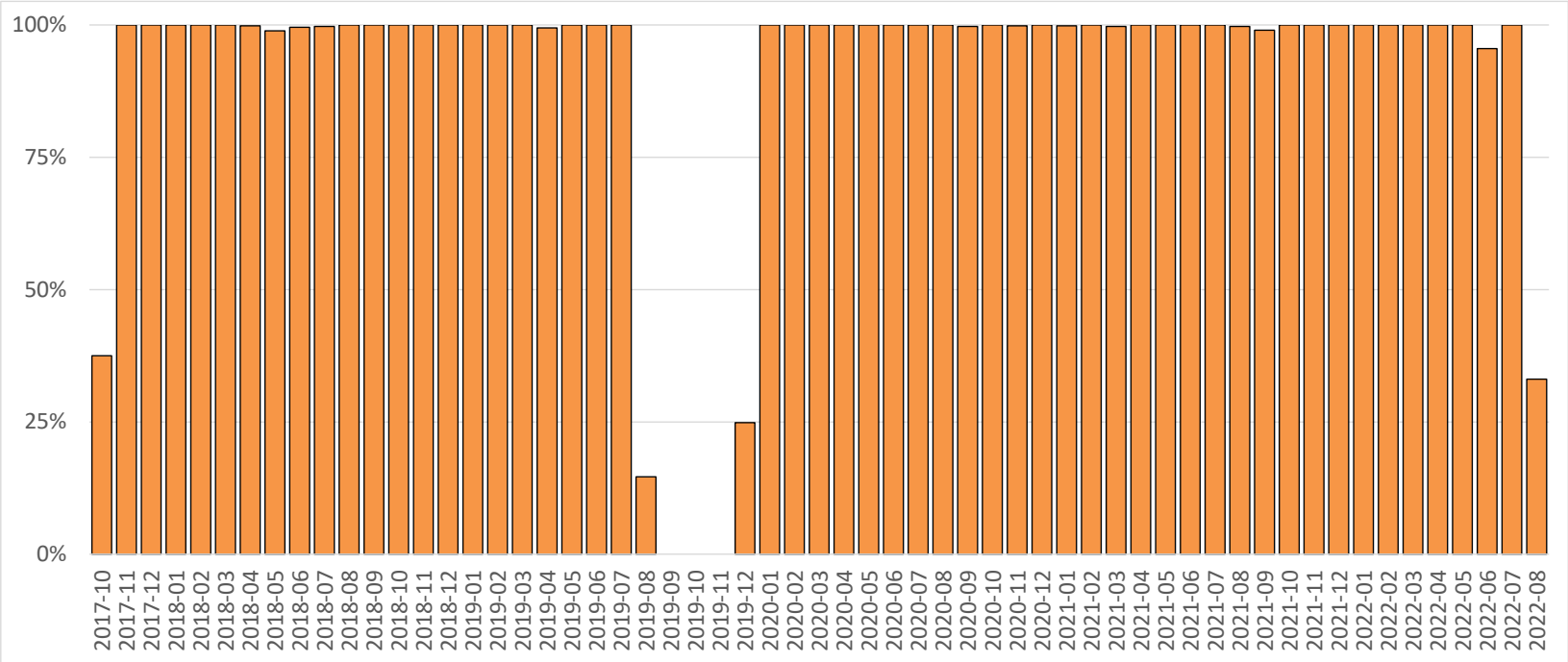
Tableau 2 Coefficients de corrélation de Pearson entre les roses des vents de la station PW et différentes sources de données

Vitesse des vents	Station Wabush (CYWK)	Données ERA5	Données ERA5-Land
3,5 à 11,5 km/h	-0,17	0,61	0,63
11,5 à 19,5 km/h	0,70	0,88	0,88
19,5 à 30,5 km/h	0,87	0,94	0,93
> 30,5 km/h	0,82	0,75	0,75
Ensemble des vents	0,57	0,86	0,86

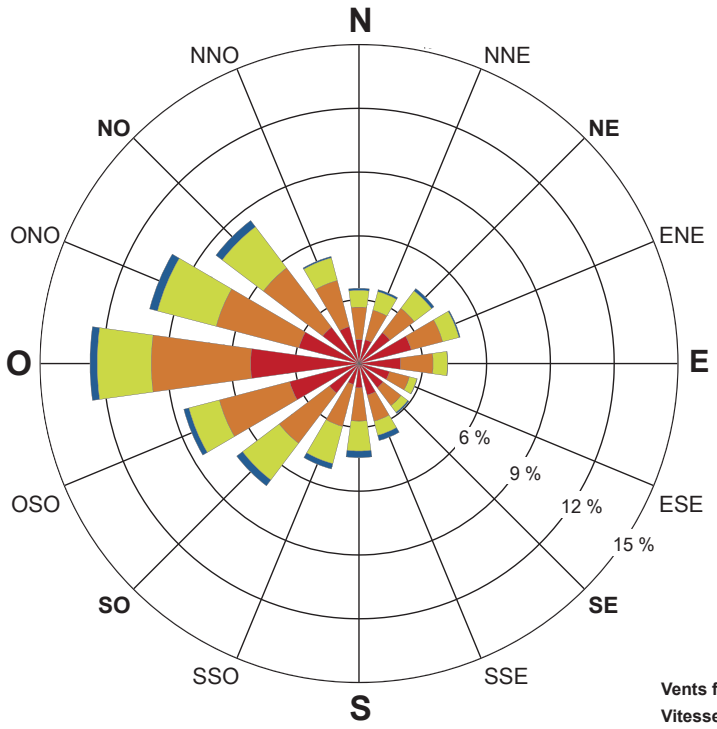
N.B. Le coefficient de Pearson varie entre -1 et +1 : une valeur de 0 reflète une relation nulle entre deux variables, une valeur négative (corrélation négative) signifie que lorsqu'une des variables augmente, l'autre diminue; tandis qu'une valeur positive (corrélation positive) indique que les deux variables varient ensemble dans le même sens.

Bien que l'US-EPA accepte un minimum de 1 an de données prises sur le site, comme cité plus haut, le MELCC a réitéré lors de la rencontre du 13 septembre 2022 son exigence quant à l'utilisation de cinq années de données météorologiques et a demandé que les données ERA5-Land soient utilisées afin de complémenter les données de la station PW. Un nouvel échantillon météorologique de cinq ans a donc été préparé suivant les exigences du MELCC. La méthodologie employée est exposée en détail à l'annexe A.

Figure 1 : Disponibilité des données météorologiques à la station PW

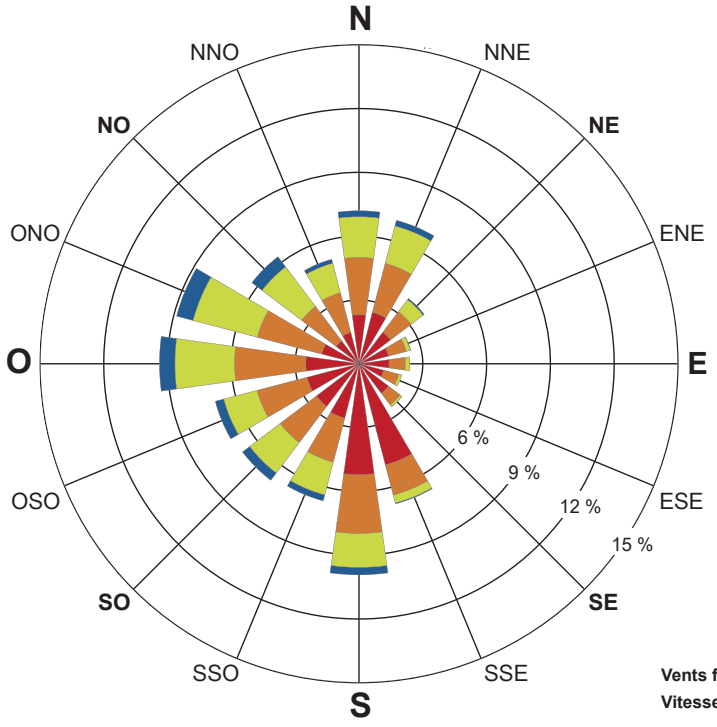


Station PW
2017-2022



Vents faibles : 8,11 %
Vitesse moyenne : 14,09 km/h

Station Wabush
2017-2022



Vents faibles : 5,59 %
Vitesse moyenne : 14,65 km/h

Vitesse des vents

- > à 30,5 km/h
- 19,5 à 30,5 km/h
- 11,5 à 19,5 km/h
- 3,5 à 11,5 km/h

MINERAI DE FER QUÉBEC
QUEBEC IRON ORE

Étude complémentaire de modélisation de la dispersion atmosphérique

Figure 2
Comparaison des roses des vents de la station Wabush A et de la station PW

Source :
Station Wabush A (CYWK, 8504177) de Environnement Canada
Station météorologique PW

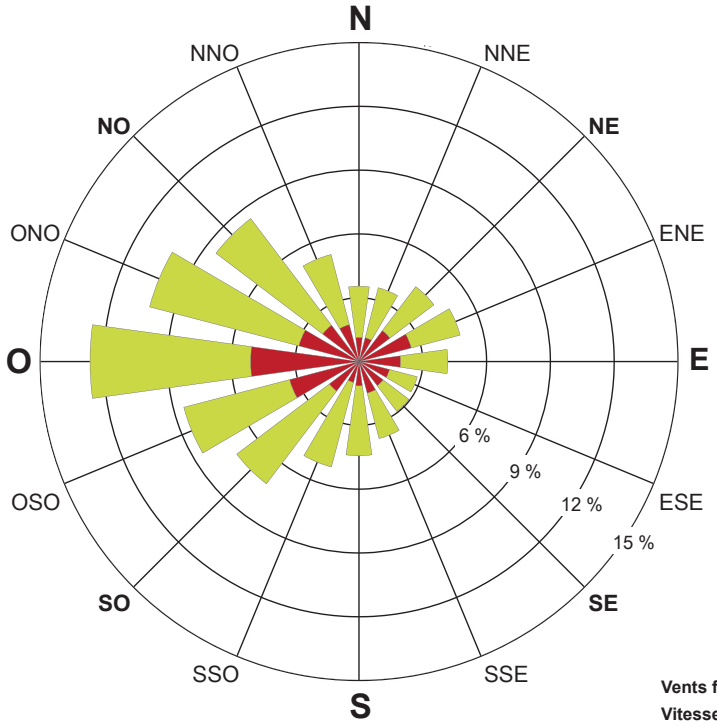
2022-10-03

Préparation : P. Lachance
Dessin : JM. Marcotte
Approbation : J. Poirier
211-06731-04F2roses_221003.ai

GOLDER

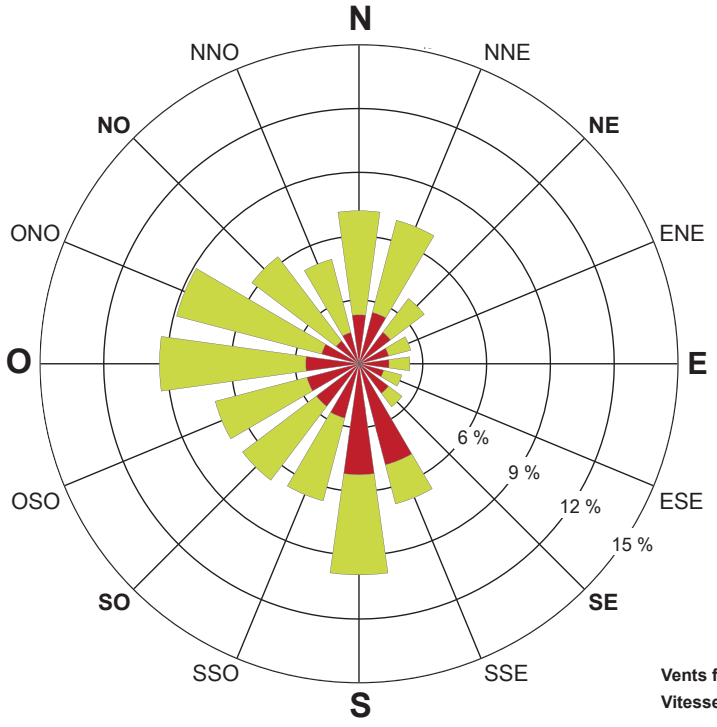
Note : *Diagramme de la fréquence de provenance du vent, par exemple, le vent souffle du nord 6,5 % du temps.*

Station PW
2017-2022



Vents faibles : 8,11 %
Vitesse moyenne : 14,09 km/h

Station Wabush
2017-2022



Vents faibles : 5,59 %
Vitesse moyenne : 14,65 km/h

Vitesse des vents

> à 11,5 km/h
0 à 11,5 km/h

MINERAI DE FER QUÉBEC
QUEBEC IRON ORE

Étude complémentaire de modélisation de la dispersion atmosphérique

Figure 3
Comparaison des roses des vents de la station Wabush A et de la station PW - Vents faibles

Source :
Station Wabush A (CYWK, 8504177) de Environnement Canada
Station météorologique PW

2022-10-03

Préparation : P. Lachance
Dessin : JM. Marcotte
Approbation : J. Poirier
211-06731-04_F2roses_221003.ai

GOLDER

Note : *Diagramme de la fréquence de provenance du vent, par exemple, le vent souffle du nord 6,5 % du temps.*

2.2.2 ATTÉNUATION DU ROUTAGE

Lors de la modélisation 2020, les sources de routage ont été identifiées comme un contributeur important aux concentrations de silice cristalline sur une période annuelle aux récepteurs sensibles. Ainsi, les paramètres caractérisant ces émissions sont déterminants sur l'exercice de modélisation.

En particulier, le facteur d'atténuation liée aux contrôles des émissions de routage est un paramètre crucial pour les résultats de modélisation. Dans la modélisation 2020, une réduction des particules émises de l'ordre de 75 %, découlant de l'arrosage régulier des routes ou de la pluie, était considérée. Ce taux d'atténuation a été estimé à partir du tableau 4 du document *Emission Estimation Technique Manual for Mining* du *National Pollutant Inventory* (DSEWPaC, 2012); en accord avec les exigences du MELCC présentées dans le *Guide d'instruction – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers* (MDDELCC, 2017). De plus, celui-ci était considéré comme constant à l'année, pour toutes les saisons.

Or, depuis le dépôt de cette modélisation, les exigences et recommandations du MELCC ont évolué et de nouveaux facteurs d'atténuation ont été autorisés lors de l'évaluation de divers projets miniers. En vue d'une uniformisation de l'évaluation des modélisations au Québec et par souci d'équité entre les projets, une révision du facteur d'atténuation est donc étudiée pour la présente modélisation.

Pour la situation hivernale, comme discuté à la section 7.2.2 des rapports de modélisation 2019 et 2020, une étude de Golder Associates a déterminé, à la suite d'une campagne d'échantillonnage sur deux sites miniers canadiens, que les conditions hivernales peuvent atténuer naturellement les émissions de particules générées par le transport sur routes non pavées de 94 % et 96 % (Golder, 2012). Dans ce contexte, le MELCC a autorisé une atténuation naturelle des émissions de routage de 85 % pour la période hivernale (SNC, 2019). Pour la présente modélisation, cette atténuation a donc été appliquée pour les mois de novembre à avril, correspondant à la saison d'hiver prescrit par le MELCC pour l'évaluation des paramètres d'utilisation du sol du modèle météorologique (MDDELCC, 2014). Ce nouveau facteur d'atténuation se traduit par une réduction additionnelle de 40 %[1] des émissions du routage par rapport à la modélisation 2020, et ce, lors des périodes de l'année où les conditions de dispersion sont typiquement les plus défavorables.

Pour les autres mois, MFQ propose l'utilisation d'abat-poussière chimique comme nouvelle mesure de contrôle des émissions plutôt que l'arrosage régulier. Un facteur d'atténuation de 80 % est alors considéré dans la modélisation, celui-ci est basé sur les facteurs proposés dans le *Guide de déclaration des émissions de poussières de routes non revêtues* pour les fins de déclaration à l'*Inventaire national des rejets de polluants* (INRP, 2021). Ce facteur d'atténuation a été proposé par le MELCC lors de l'évaluation d'autres projets miniers. Ce nouveau facteur d'atténuation se traduit par une réduction additionnelle de 20 % des émissions du routage par rapport à la modélisation 2020.

2.2.3 TENEUR EN SILICE CRISTALLINE SUR LES ROUTES

Pour la modélisation 2020, une teneur en silice cristalline de 2 % a été considérée sur les surfaces de roulement des routes afin d'estimer les émissions atmosphériques. Cette hypothèse était alors basée sur une note de service géologique de Cliffs de 2014, mise à jour en 2019 par MFQ (CLIFFS, 2014). De plus, il était assumé que la teneur silice cristalline dans les matières particulaires émises (< 4 µm) est semblable à la teneur *in situ* des matériaux associés.

En raison de la contribution des sources de routage sur les concentrations modélisées de silice cristalline sur une période annuelle, la teneur considérée s'avère donc importante pour les résultats de la modélisation. Depuis, de nouvelles analyses ont alors été réalisées afin de vérifier si cette hypothèse est réaliste et que cela n'entraîne pas une

[1] $\left(1 - \frac{1-0.85}{1-0.75}\right) \times 100 = 40\%$

sous-estimation importante des concentrations attendues de silice cristalline dans l'air ambiant aux récepteurs sensibles.

Une analyse de la teneur *in situ* de silice cristalline dans l'amphibolite, soit les matériaux disponibles pour la construction et l'entretien des fondation des routes, a d'abord été réalisée (Golder, 2022). Cette étude a démontré que la teneur *in situ* moyenne en silice cristalline est de 5,1 %. Il s'agit cependant de la teneur *in situ* des matériaux et celle-ci n'est pas nécessairement représentative de la teneur de silice cristalline des particules fines de la surface de roulement, soit, plus précisément, des PM_4 émises par les sources telle que le routage. En effet, puisque la silice cristalline est un matériau de grande dureté et peu friable (index d'abrasion faible), il est attendu que la teneur en silice cristalline soit plus faible dans les particules de faibles tailles de la surface de roulement des routes, générées par un mécanisme d'abrasion lors du passage des camions, que directement dans les matériaux utilisés pour la construction de celle-ci.

Ainsi, afin de vérifier cette hypothèse, une analyse de la teneur en silice cristalline dans les matières granulaires présentes sur la surface de roulement des routes de halage sur le site de la mine de fer du Lac Bloom a ensuite été réalisée (WSP, 2022). Cette étude a démontré que la teneur en silice cristalline dans les PM_4 présentes sur la surface de roulement des routes de halage sur le site de la mine de fer du Lac Bloom est d'en moyenne 0,45 %, soit un ordre de grandeur en deçà de la teneur moyenne *in situ* de l'amphibolite. Il y est également démontré que la teneur en silice cristalline dans les PM_4 est nettement inférieure à la teneur dans les PM_{75} et un ratio de 23 % est alors observé. Il est important de noter que ce ratio compare des tranches granulométriques fines (PM_4 et PM_{75}) et qu'en comparant les teneurs dans les PM_4 aux teneurs *in situ* des lithologies des matériaux utilisés pour la construction de la surface de roulement, un ratio encore plus faible serait attendu.

Ces observations abondent dans le même sens que l'étude de Richards *et al* (Richards, 2009), ou un ratio de 44 % est mesuré entre la teneur en silice cristalline des PM_4 misent en suspension suite à des activités de manutention et la teneur *in situ* du granulat manipulé.

Afin d'étudier la sensibilité de la teneur en silice cristalline considérée dans la modélisation, quatre scénarios de teneur sont identifiés et décrits dans le tableau 3. Parmi ceux-ci, le scénario 4 (0,45 %) est celui qui est jugé le plus réaliste et représentatif des surfaces de roulement du site minier puisqu'il s'agit d'une mesure effectuée directement sur les sources d'intérêt.

Tableau 3 Scénarios étudiés de teneur en silice cristalline dans les PM_4 pour la caractérisation des émissions liées au routage

Scénario	Teneur en silice cristalline	Fraction dans les PM_4	Teneur en silice cristalline effective dans les PM_4	Références
1	2%	100%	2%	Hypothèse de l'EIE 2019
2	5,1%	44%	2,24%	Teneur moyenne *in situ* de l'amphibolite, combiné à la fraction dans les PM_4 de l'étude de Richard *et al*
3	5,1%	23,3% [1]	1,19%	Teneur moyenne *in situ* de l'amphibolite, combiné à la fraction dans les PM_4 de l'échantillonnage de la surface de roulement des routes du site MFQ
4	0,45%		0,45%	Teneur moyenne de la surface de roulement de l'échantillonnage de la surface de roulement des routes du site MFQ

Note :
[1] Ratio obtenu par la comparaison de tranches granulométriques fines (PM_4 et PM_{75}). Un ratio encore plus faible serait attendu par la comparaison des teneurs dans les PM4 aux teneurs in situ des lithologies des matériaux utilisés pour la construction de la surface de roulement.

2.2.4 PRÉCIPITATIONS

Suivant les exigences de modélisation du Québec, les précipitations ne sont typiquement pas prises en compte dans les modèles de dispersion. Or, ceci peut être légitime lors de l'évaluation de normes ou critère de courte période, puisque ces événements de précipitation pourraient ne pas survenir lors des mêmes conditions. Néanmoins, l'omission des précipitations surestime les émissions lors de l'évaluation de norme ou critère sur une période annuelle, telle que la silice cristalline dont il est question ici. Considérant que la majorité des sources contributrices aux concentrations de silice cristalline consistent en des sources fugitives de poussières dont les émissions sont intimement liées à l'humidité des matériaux, leur émission serait assurément affectée par les précipitations.

À titre indicatif, les normales climatiques de la région (station Wabush Lake A, 1981 à 2010) (EC, 2022) indiquent qu'une moyenne de 213,7 jours par année présente des précipitations supérieures à 0,2 mm. De plus, une moyenne de 201,6 jours par année présente un couvert de neige supérieur à 1 cm. Ces statistiques de précipitation suggèrent que l'effet de réduction pourrait être important sur les émissions annuelles.

Cela dit, aucun facteur d'atténuation liée aux précipitations n'a cependant été considéré dans la présente étude. Il est toutefois suggéré d'approfondir l'analyse de l'effet des précipitations sur l'estimation des émissions de l'ensemble des sources d'un projet minier.

3 RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION ET ANALYSE

À la suite de la révision des paramètres de modélisation décrits ci-dessus, la mise à jour des résultats de la silice cristalline sur une période annuelle du scénario d'exploitation est présentée au tableau 4. Ces résultats représentent la concentration maximale modélisée aux récepteurs sensibles par les sources du projet uniquement, c'est-à-dire avant l'ajout de la concentration initiale. À titre de rappel, le critère annuel de qualité de l'atmosphère pour la silice cristalline est de 0,07 µg/m^3 et la concentration initiale à considérer est de 0,04 µg/m^3.

Dans la modélisation 2020, plusieurs mesures d'atténuation ont été proposées afin de réduire les concentrations modélisées de silice cristalline. Cet ensemble de mesures d'atténuation était alors modélisé en étape et un total de quatre variantes du scénario d'exploitation était présenté. Les mêmes variantes du scénario sont alors reprises

intégralement dans la présente analyse. De plus, une cinquième situation s'ajoute à celles-ci, soit la situation avant l'application des mesures d'atténuation; celle-ci n'était pas présentée dans la modélisation 2020.

Les résultats révisés montrent que pour tous les nouveaux scénarios de teneurs de silice cristalline considérées (scénario 2 à 4), les concentrations modélisées sont inférieures à la concentration correspondante modélisée en 2020, soit lorsque les mêmes mesures d'atténuation sont considérées.

Pour la teneur la plus réaliste et représentative des surfaces de roulement du site minier, soit le scénario 4 (0,45%), les concentrations modélisées sont environ la moitié de celles correspondantes modélisées en 2020. À titre indicatif, la concentration révisée pour ce scénario avant l'application des mesures d'atténuation est similaire à celle modélisée en 2020 lors de l'application de la majorité des mesures d'atténuation, soit avec les mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline (0,049 vs 0,048 µg/m^3). Ceci suggère qu'une partie des mesures d'atténuation serait imposée indûment par la méthode de modélisation 2020.

En somme, l'utilisation de données météorologiques plus représentatives du site, l'uniformisation de l'atténuation du routage avec les autres projets miniers et la révision de la teneur en silice cristalline sur les routes pour une valeur plus réaliste et représentative du site induisent une réduction importante des concentrations modélisées aux récepteurs sensibles par rapport à celles de la modélisation 2020.

Tableau 4 Concentrations maximales modélisées de silice cristalline sur une période 1 an aux récepteurs sensibles (µg/m^3)

Scénarios de teneur en silice cristalline dans les PM_4 sur les routes		Modélisation 2020	Révision 2022		
		1 (2 %)	2 (2,24 %)	3 (1,19 %)	4 (0,45 %)
Scénario d'atténuation	Sans mesure d'atténuation	*0,097 (Non présenté dans l'étude originale)*	0,061	0,054	0,049
	Variantes d'opération pour le quartz	0,075	0,047	0,040	0,035
	Ajout de la restriction d'angle de vent pour les sautages	0,074	0,045	0,038	0,033
	Ajout des mesures d'atténuation spécifiques pour le contrôle des émissions de silice cristalline	0,048 [1]	0,039	0,032	0,027
	Ajout de l'arrosage intensif et spécifique	0,029 [1]	0,024	0,021	0,018

Note :

[1] Une teneur de 1% de silice cristalline est considérée sur les routes comme mesure d'atténuation pour ces scénarios.

PRÉPARÉ PAR

Philippe Lachance, Physicien, M. Sc.
Spécialiste senior et chargé de projets – Qualité de l'air

et

Julien Poirier, ing. M. Sc. (OIQ # 5031699)
Coordonnateur et directeur de projets – Qualité de l'air

AUSTRALIAN GOUVERNMENT, DEPARTMENT OF SUSTAINABILITY, ENVIRONMENT, WATER, POPULATION AND COMMUNITIES (DSEWPaC). 2012. *National Polluant Inventory (NPI) - Emission Estimation Technique Manual for Mining*. Version 3.1.

CANADA, ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA (INRP). 2021. *Inventaire National des Rejets de Polluants - Émissions de poussières de routes non revêtues : guide de déclaration*.

CLIFFS. 2014. *Présence de fer, aluminium et silice cristalline dans le gisement de la mine de fer du Lac Bloom*.

ENVIRONNEMENT CANADA (EC). 2022. *Données climatiques historiques*. En ligne: www.climat.meteo.gc.ca.

GOLDER ASSOCIATES (Golder). 2012. *Determination of Natural Winter Mitigation of Road Dust Emissions from Mining Operations in Northern Canada*.

GOLDER ASSOCIÉS LTÉE (Golder). 2022. *Étude minéralogique pour l'évaluation de la teneur en silice cristalline dans les stériles d'amphibolite de la mine du lac Bloom, Fermont, Québec. 006-2149698602-MTF-RevB*. Montréal, Québec. Memorandum technique produite pour Minerai de fer Québec.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2021. *Rapport d'analyse environnementale pour le projet d'augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine de fer du lac Bloom sur le territoire de la municipalité régionale de comté de Caniapiscau par Minerai de fer Québec Inc., Dossier 3211-16-011*.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC). 2019. *Deuxième série de questions et commentaires pour le projet de Mine de fer du lac Bloom - Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers sur le territoire de la MRC de Caniapiscau par Minerai de fer Québec*. Québec, Canada. 29 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2014. *Questions et commentaires pour le projet d'augmentation de la capacité de stockage des résidus et stériles miniers à la mine de fer du lac Bloom sur le territoire de la Municipalité de Fermont par la Société en commandite Mine de Fer du Lac Bloom*. Québec, Canada. 19 p.

QUÉBEC, MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2017. *Guide d'instructions – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques – Projets miniers*.

QUÉBEC, MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP). 2005. *Guide de la modélisation de la dispersion atmosphérique*. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Envirodoq no ENV/2005/0072. 22 p. et annexes.

RICHARDS, J.R. 2009. « PM4 Crystalline Silica Emission Factors and Ambient Concentrations at Aggregate-Producing Sources in California ». *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 59. DOI 10.3155/1047-3289.59.11.1287.

SNC-LAVALIN GEM QUÉBEC (SNC). 2019. *Projet Matawinie – Étude de dispersion atmosphérique, rapport sectoriel 014*. Lévis, Québec. 50 p.+ annexes. En ligne: https://www.ree.environnement.gouv.qc.ca/dossiers/3211-16-019/3211-16-019-10.pdf.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). 2022a. *User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET)*. Research Triangle Park, North Carolina. Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, Air Quality Modeling Group.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). 2022b. *AERMOD Implementation Guide*. Research Triangle Park, North Carolina. Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, AERMOD Implementation Workgroup.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). 2021. *User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET)*. Research Triangle Park, North Carolina. Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, Air Quality Modeling Group.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). 2017. *Guideline on Air Quality Models*. 40 CFR Part 51, Appendix W.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). 2008. *AERSURFACE User's Guide*. Research Triangle Park, North Carolina. Office of Air Quality Planning and Standards. Revised 01/16/2013.

WSP. 2022. *Mine de fer du lac Bloom – Caractérisation de la couche de roulement des routes de halage - Caractérisation de la teneur en silice cristalline des matériaux composant la surface de roulement des routes de halage au site de la mine de fer du lac Bloom*. Trois-Rivières, Québec. Note technique produite pour Minerai de fer Québec.

WSP. 2020. *Mine de fer du lac Bloom – Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers - Modélisation de la dispersion atmosphérique, Révision 1*. Trois-Rivières, Québec. Rapport produit pour Minerai de fer Québec.

WSP. 2019. *Mine de fer du lac Bloom – Augmentation de la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers - Modélisation de la dispersion atmosphérique, Révision 0*. Trois-Rivières, Québec. Rapport produit pour Minerai de fer Québec.

WSP. 2018a. *Mine de Lithium Baie-James. Étude de modélisation de la dispersion atmosphérique. Rapport produit pour Galaxy Lithium (Canada) Inc.*

WSP. 2018b. *Projet minier rose lithium-tantale étude spécialisée sur la qualité de l'air - Territoire du gouvernement régional d'eeyou istchee Baie-James. Rapport produit pour Corporation Éléments Critiques*. Révision 1, version finale, projet no.: 111-17853-01.

Annexe A
Échantillon météorologique

L'échantillon météorologique utilisé pour la modélisation avec le programme AERMOD a été préparé à l'aide du module AERMET, version 22112 (US-EPA, 2022a). Le module AERMET permet de créer un format de fichier météorologique horaire compatible avec l'exécution du modèle de dispersion en combinant les données météorologiques avec la caractérisation de l'utilisation du sol.

1 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE SURFACE

Les données météorologiques de surface de la station PW, située au sud du site et opérée par MFQ, ont été privilégiées dans le cadre de la présente étude. Plus spécifiquement, les paramètres mesurés par la station sont la vitesse et la direction des vents, ainsi que la température. En ce qui concerne la pression, les données de la station Wabush A [WMO # 71825][2], située à environ 31 km à l'est du site, ont été utilisées. Les coordonnées et l'élévation des stations sont données au tableau 5.

La disponibilité des données pour la station PW est illustrée à la figure 1. À ce jour, l'équivalent d'un peu plus de quatre ans de données est disponible. À la demande du MELCC, afin de produire un échantillon météorologique de cinq années, les données ERA5-Land ont été utilisées en complément des données de la station PW. Les données ERA5-Land sont une reproduction de la composante terrestre de la réanalyse climatique ERA5, avec une résolution spatiale plus fine, et fournissent des informations horaires à haute résolution sur les variables de surface. Or, de façon à conserver un ensemble de données le plus cohérent possible, on note que l'ensemble des paramètres, incluant la pression, ont été extraits des réanalyses ERA5-Land lorsque ces données ont été utilisées. Les données ont été extraites au point de grille le plus proche de la station PW, soit à 3,1 km à l'ouest de la station.

Tableau 5 : Description des stations météorologiques de surface considérées

Nom	Coordonnées		Élévation (m)	ID Climat	WMO	ID TC
	Latitude	Longitude				
PW	52.798	-67.254	690.0	S.O.	S.O.	S.O.
Wabush A	52.923	-66.865	551.4	8504177	71825	YWK

2 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES AÉROLOGIQUES, RADIATION ET COUVERTURE NUAGEUSE

Dans le cadre de la présente modélisation, les données météorologiques aérologiques ainsi que les données de rayonnement net et de couverture nuageuse requises pour l'exécution d'AERMET ont été extraites des réanalyses météorologiques ERA5, produites par le *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF).

Les réanalyses ERA5 sont réputées pour produire les champs météorologiques sur grille les plus précis à ce jour et sont utilisées dans plusieurs sciences et industries telles que la climatologie, l'agronomie, les énergies renouvelables, l'hydrologie, la qualité de l'air, l'océanographie, etc. Celles-ci sont produites à partir d'un modèle météorologique qui combine plusieurs types d'observations météorologiques, tels que des stations de surfaces, des radiosondages, des avions et des satellites, et ce, avec une fréquence temporelle d'une heure. Ce modèle calcule l'état de l'atmosphère même sur les régions où les stations météorologiques ne sont pas disponibles. Les données téléchargées à partir du magasin de données (data store) du Copernicus[3] offre une résolution spatiale (latitude,

[2] Environnement Canada. Données climatiques historiques. En ligne: www.climat.meteo.gc.ca.

[3] https://cds.climate.copernicus.eu/
Copernicus est le programme d'observation de la Terre de l'Union européenne. Le programme est coordonné et géré par la Commission européenne. Il est mis en œuvre en partenariat avec les États membres, l'Agence spatiale européenne (ESA), l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT), le Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF), les agences de l'UE et Mercator Océan.

longitude) de 0,25° × 0,25°, ce qui correspond à une résolution de 27,8 km × 27,8 km à l'équateur et d'environ 17 km × 27,8 km pour la région à étude.

Les variables météorologiques en altitude ayant été considérées pour la modélisation sont la hauteur par rapport au sol, la pression atmosphérique ainsi que la température. De plus, les paramètres de turbulence de la couche limite planétaire sont calculés par le module AERMET à partir du rayonnement net durant les conditions de couche limite convective (généralement le jour) et de la couverture nuageuse durant les conditions de couche limite stable (généralement la nuit) (US-EPA, 2021).

Les données ont été extraites au point de grille le plus proche de la station PW, soit à 5,3 km au sud de la station. Cette approche offre un échantillon de données complet ainsi qu'une bonne représentativité du site à l'étude.

3 CLASSIFICATION DU TERRITOIRE ET UTILISATION DU SOL

Le module AERMET utilise trois paramètres d'entrée liés aux caractéristiques du sol : la longueur de rugosité, le ratio de Bowen et l'albédo.

La longueur de rugosité du sol est associée à la hauteur des obstacles à l'écoulement du vent et est, en principe, la hauteur à laquelle la vitesse horizontale moyenne du vent est nulle sur la base d'un profil logarithmique. La rugosité du sol influence le cisaillement du vent près de la surface et représente un facteur important pour déterminer l'ampleur de la turbulence mécanique et la stabilité de la couche limite planétaire.

Le rapport de Bowen diurne, un indicateur de l'humidité de la surface, est le rapport entre le flux de chaleur sensible et le flux de chaleur latente. Il est utilisé pour déterminer les paramètres de la couche limite planétaire pour les conditions convectives entraînées par le flux de chaleur sensible de la surface.

L'albédo représente finalement la fraction de la radiation solaire incidente totale qui est réfléchie par la surface vers l'espace sans absorption.

Suivant les recommandations du guide d'implémentation d'AERMOD (US-EPA, 2022b),

1. L'évaluation de la rugosité est basée sur une moyenne géométrique pondérée par l'inverse de la distance, et ce, pour une zone de 1 km de rayon, définie autour du site de mesure. Cette zone est découpée en plusieurs secteurs, dont la largeur n'est jamais inférieure à 30 degrés, afin de prendre en compte la variation de l'utilisation du sol à proximité du site de mesure.
2. L'évaluation du ratio de Bowen est effectuée à l'aide d'une moyenne géométrique non pondérée (indépendante de la direction ou de la distance) sur un domaine de 10 km par 10 km, centré sur le site de mesure.
3. L'évaluation de l'albédo est effectuée à l'aide d'une moyenne arithmétique non pondérée (indépendante de la direction ou de la distance) sur un domaine de 10 km par 10 km, centré sur le site de mesure.

Suivant les recommandations du MELCC (MDDELCC, 2014), deux saisons ont été considérées pour l'évaluation des caractéristiques de surface soit l'hiver (novembre à avril inclusivement) et l'été (mai à octobre inclusivement). Pour chacune des saisons et chacun des types de couvertures, la longueur de rugosité, le ratio de Bowen et l'albédo sont tirés du guide de AERSURFACE (US-EPA, 2008 Revised 01/16/2013).

Les valeurs estimées à la station PW pour chacun des paramètres sont présentées en fonction des saisons au tableau 6. Les catégories d'utilisation du sol, définies dans un rayon de 1 km autour du site de mesure, sont pour leur part illustrées à la carte 1. Finalement, lorsque les données de surface ERA5-Land ont été utilisées, les paramètres d'utilisation du sol estimés pour la station PW ont également été considérés, et ce, afin de minimiser les différences entre les jeux de données générés à l'aide des données prises sur le site et des données pronostiques.

Tableau 6 : Paramètres d'utilisation du sol calculés pour la station PW

Saison	Albedo	Ratio de Bowen	Longueur de rugosité par secteur (m)		
			1	2	3
			(138° - 203°)	(203° - 330°)	(330° - 138°)
Été (mai, juin, juillet, août, septembre, octobre)	0.142	0.413	0.144	0.656	0.481
Hiver (janvier, février, mars, avril, novembre, décembre)	0.472	0.500	0.130	0.609	0.373

4 CONFIGURATION D'AERMET

L'ensemble des paramètres par défaut du modèle AERMET, de même que l'option *ADJ_U**, ont été utilisés. De plus, l'option UASELECT est activée pour traiter les données aérologiques horaires, ce qui permet à AERMET de choisir le profil vertical optimal suivant l'heure locale du lever de soleil.

La configuration d'AERMET est décrite aux tableaux 7 et 8, respectivement, pour l'utilisation des données de surface de la station PW et d'ERA5-Land.

Tableau 7 : Configuration d'AERMET (Station PW)

Type de données	Source	Données météorologiques
ONSITE	Station PW	Vitesse et direction du vent à 10 m (seuil = 1 m/s) Température à 2 m
	ERA5	Rayonnement net Couverture nuageuse
SURFACE	Station Wabush A	Pression de surface
UPPERAIR	ERA5	Profil vertical de la température Profil vertical de la pression atmosphérique

Tableau 8 : Configuration d'AERMET (ERA5-Land)

Type de données	Source	Données météorologiques
ONSITE	ERA5-Land	Vitesse et direction du vent à 10 m (seuil = 0 m/s) Température à 2 m Pression de surface
	ERA5	Rayonnement net Couverture nuageuse
SURFACE	Station Wabush A	Pression de surface (non utilisée)
UPPERAIR	ERA5	Profil vertical de la température Profil vertical de la pression atmosphérique

5 DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON MÉTÉOROLOGIQUE

Conformément aux demandes du MELCC dans le cadre d'une modélisation de la dispersion atmosphérique de 2e niveau (MDDEP, 2005), un échantillon météorologique couvrant les cinq années les plus récentes et représentatif de la région a été considéré. Afin de maximiser l'utilisation des données prises sur le site, les données du 11 août 2017 au 10 août 2022 ont été considérées. Or, pour faciliter la modélisation, les parties d'années 2017 et 2022 ont été combinées pour former une année 2017 complète. Dans cet échantillon météorologique, les données ERA5-Land couvrent donc les plages allant du 11 août 2017 au 20 octobre 2017 et du 5 août 2019 au 24 décembre 2019.

L'échantillon météorologique produit par AERMET est décrit au tableau 9. Les données sont complètes à plus de 99,5 % pour chacune des années individuellement, alors que le pourcentage de données manquantes est inférieur à 0,2 % sur l'ensemble des cinq années. À cet effet, il est important de rappeler que les données de rayonnement net et de couverture nuageuse ainsi que les données aérologiques (ERA5) fournies comme données d'entrée sont complètes à 100 %, et que la pression atmosphérique est estimée par AERMET en fonction de l'élévation de la station lorsque celle-ci est manquante.

Tableau 9 : Analyse de l'échantillon météorologique

Année	Nombre d'heures total	Nombre de vents calmes	Nombre d'heures manquantes			Ratio d'heures manquantes (%)	Nombre d'heures ignorées [1]	Ratio d'heures ignorées (%)
			WS, WD et/ou T	Paramètres micro-météo	Total			
2017	8760	521	32	10	42	0.48	563	6.43
2018	8760	714	14	11	25	0.29	739	8.44
2019	8760	433	4	1	5	0.06	438	5.00
2020	8784	695	2	1	3	0.03	698	7.95
2021	8760	770	11	0	11	0.13	781	8.92

Note :
[1] Les heures pour lesquelles A) le vent est calme; B) la vitesse du vent (WS), la direction du vent (WD) et/ou la température (T) est manquante; ou C) les paramètres micro-météorologiques ne peuvent être calculés ne sont pas traitées par AERMOD.

Les roses des vents de l'échantillon météorologique sont présentées par année à la figure 4. Les vents dominants soufflent majoritairement en provenance de l'ouest. Les données de vitesse des vents sont également décrites au tableau 10.

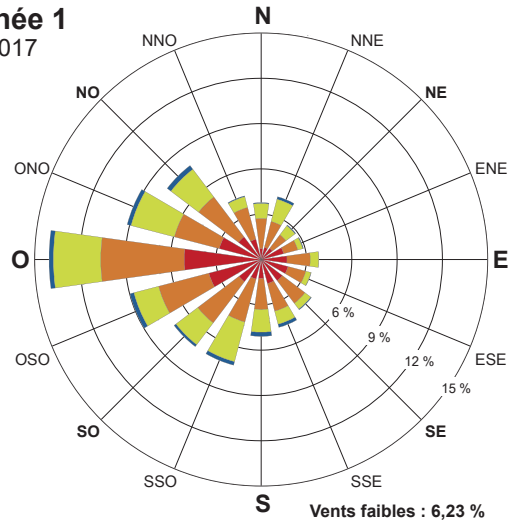
Finalement, il est important de souligner que la topographie n'est pas prise en compte par le modèle météorologique AERMET et que les paramètres météorologiques sont considérés comme identiques en tout point à l'intérieur du domaine de modélisation.

Tableau 10 : Description de la vitesse des vents de l'échantillon météorologique

Paramètre	Valeur
Fréquence de vents faibles[4]	7,36 %
Fréquence de vents calmes	7,16 %
Vitesse moyenne (tous les vents)	14,30 km/h (3,97 m/s)
Vitesse enregistrée la plus faible (différente de zéro)	1 km/h (0,28 m/s)
Vitesse enregistrée la plus élevée	56 km/h (15,5 m/s)

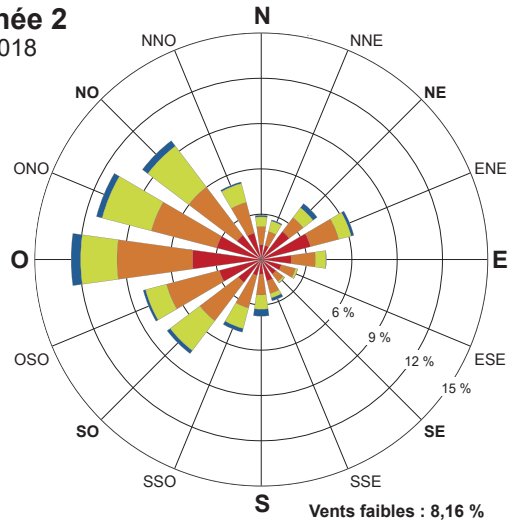
[4] Le seuil utilisé ici pour définir les vents faibles est de 3,5 km/h, ou 0,97 m/s. Ce choix est d'abord justifié par le fait que les vitesses de vent fournies pour les stations d'Environnement Canada sont données en valeur entière de km/h. De plus, le seuil de vent calme, en deçà duquel une vitesse de 0 km/h est rapportée, varie entre 1 et 4 km/h en fonction des stations et des équipements en place. L'utilisation ici d'un seuil de 3,5 km/h permet donc d'uniformiser la comparaison entre des stations présentant des seuils différents et/ou des données pronostiques. Enfin, la terminologie de « vent calme » est réservée pour les valeurs de vents explicitement rapportés comme égales à zéros dans les données d'origines et qui ne sont notamment pas traités par les modèles de dispersion.

Année 1
2017



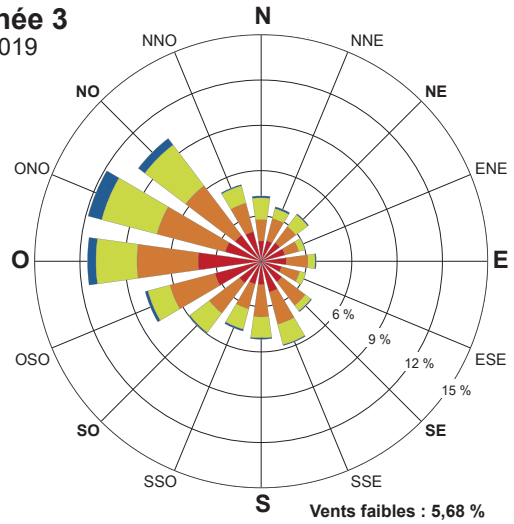
Vents faibles : 6,23 %
Vitesse moyenne : 14,59 km/h

Année 2
2018



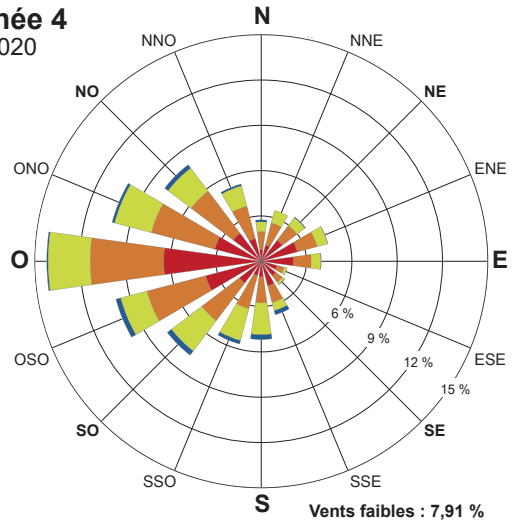
Vents faibles : 8,16 %
Vitesse moyenne : 14,26 km/h

Année 3
2019



Vents faibles : 5,68 %
Vitesse moyenne : 14,81 km/h

Année 4
2020

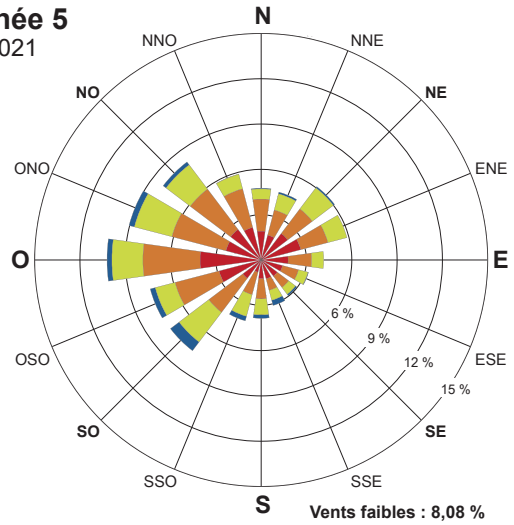


Vents faibles : 7,91 %
Vitesse moyenne : 13,99 km/h

Vitesse des vents

- > à 30,5 km/h
- 19,5 à 30,5 km/h
- 11,5 à 19,5 km/h
- 3,5 à 11,5 km/h

Année 5
2021



Vents faibles : 8,08 %
Vitesse moyenne : 14,21 km/h

MINERAI DE FER QUÉBEC
QUEBEC IRON ORE

Étude complémentaire de modélisation de la dispersion atmosphérique

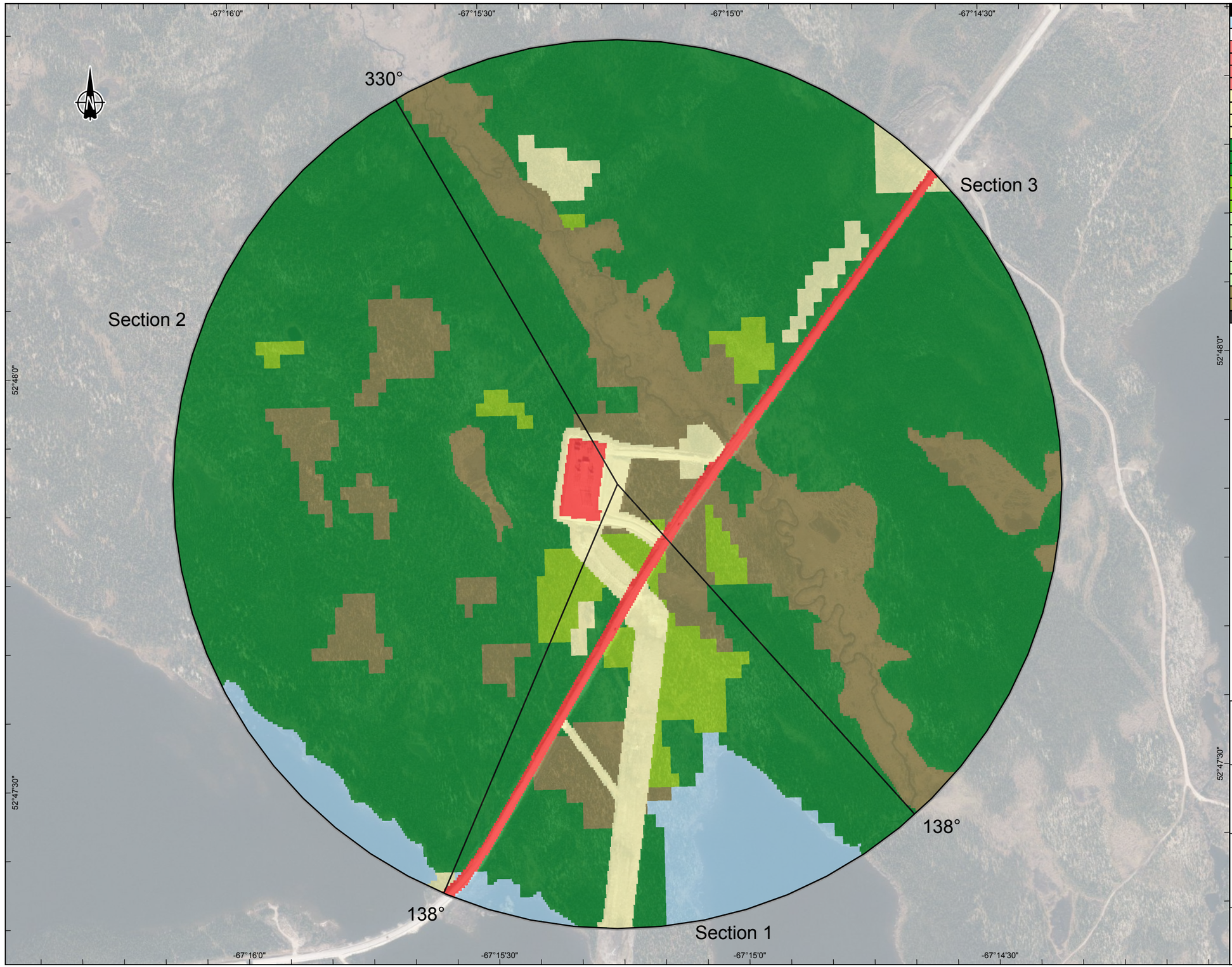
Figure 4
Roses des vents de l'échantillon météorologique

Source :
Données AERMET v22112 (.SFC)
Station météorologique PW
ERA5Land

2022-10-03

Préparation : P. Lachance
Dessin : JM. Marcotte
Approbation : J. Poirier
211-06731-04_F3_roses_221003.ai

GOLDER



Code	Description
11	Eau
12	Neige/glace éternelle
21	Résidentiel clairsemé
22	Résidentiel dense
23a	Commercial/industriel/transport - Site d'aéroport
23b	Commercial/industriel/transport - Autre
31a	Sol rocheux/sableux/argileux (région aride)
31b	Sol rocheux/sableux/argileux (région non-aride)
32	Carrière/mines/gravier
33	Zone de transition entre 2 catégories
41	Forêt de feuillus
42	Forêt de conifères
43	Forêt mixte
51a	Fruticées (arbustes) - région aride
51b	Fruticées (arbustes) - région non aride
71	Prairies/herbacé
61	Vergers/vignobles
81	Paturage/foins
82	Champs de culture en rang
83	Champs de culture de graminées (blé, riz etc.)
84	Champs avec alternance culture/travail au sol
85	Végétation artificiel (parcs, golf, herbes d'aéroport, etc.)
91	Zones humides boisées
92	Herbacées en milieu humide
	Non défini

MINERAI DE FER QUÉBEC
QUEBEC IRON ORE

Étude complémentaire de modélisation de la dispersion atmosphérique

Carte 1
Catégories d'utilisation du sol dans un rayon d'un kilomètre autour de la station météorologique PW

Source :
Service d'imagerie du gouvernement du Québec:

0 85 170 m
UTM, fuseau 19N, NAD83

2022-10-07

Préparation: P. Lachance
Dessin: JM. Marcotte
Vérification: J. Poirier
211-06731-04_utilSol_221007.pdf

WSP GOLDER

Annexe B
Note technique - Données informationnelles sur les stations météorologiques

NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Minerai de fer Québec		
PROJET :	Suivi 2022 de la qualité de l'air de la mine du Lac Bloom	**Réf. WSP :**	221-06731-06
OBJET :	Données informationnelles sur les stations météorologiques	**DATE :**	14 octobre 2022
DESTINATAIRE :	M. Michel Groleau, MFQ		

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'exploitation du site minier du Lac Bloom, Minerai de fer Québec (MFQ) réalise le suivi des conditions météorologiques à son site. Le site comporte trois stations météorologiques mesurant les paramètres d'intérêt nécessaires à la bonne gestion des opérations minières.

2 STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

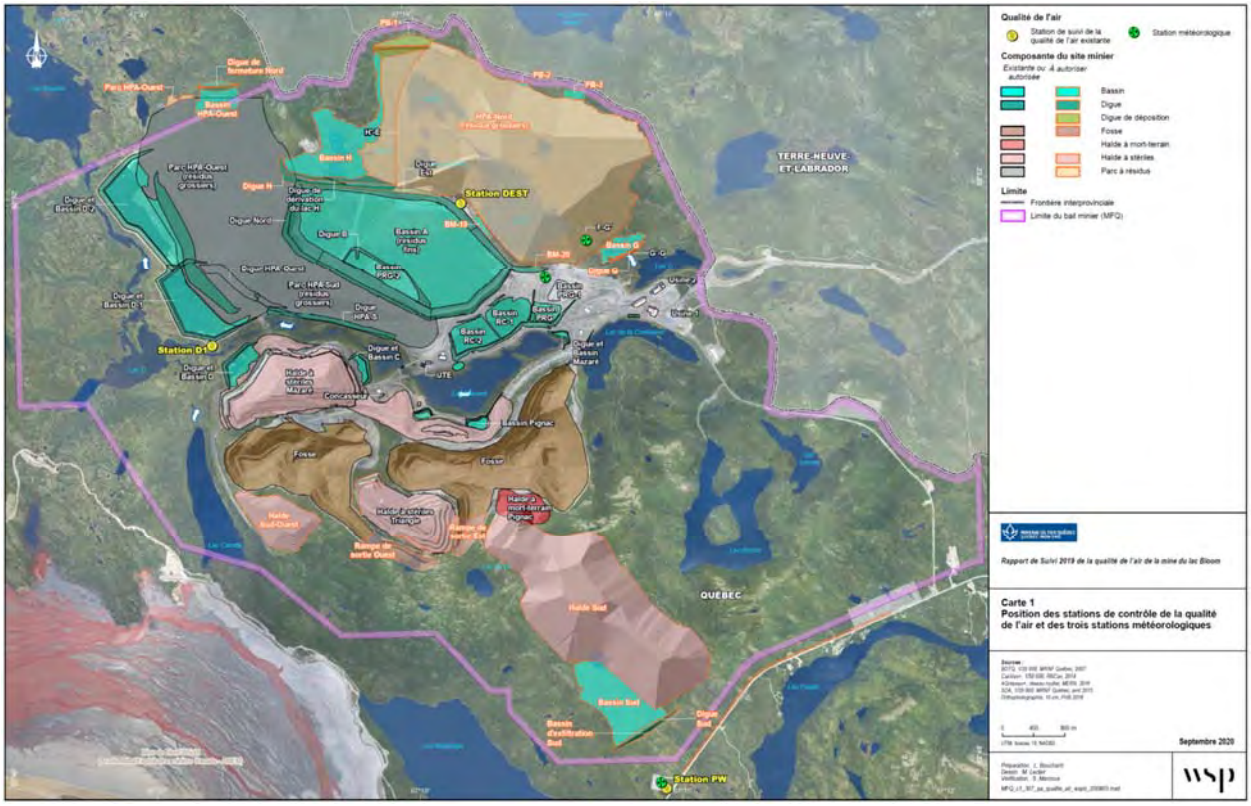
Le site MFQ-Lac Bloom comporte trois stations météorologiques. La première station désignée MFQ est installée depuis 2014 au milieu du site, sur le toit d'un bâtiment au nord du bassin PRG. La deuxième station est installée en 2017 au poste W situé au sud de la mine, près de la station de suivi de la qualité de l'air PW. Elle a pour but d'obtenir des données météorologiques à proximité des équipements mesurant la qualité de l'air, pour la compilation et l'interprétation des résultats. La troisième station (station Poudrière) a pour objectif de mesurer l'épaisseur de la neige; elle est installée sur le site, au nord-est près du bassin G. La carte 1 indique la position des trois stations météorologiques. La carte montre aussi la position des stations de suivi de la qualité de l'air au site.

WSP Canada Inc.
11e étage
1600, boulevard René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec) H3H 1P9
Canada

T : +1-514-340-0046
F : +1-514-340-1337

wsp.com

Carte 1 **Position des stations de contrôle de la qualité de l'air et des trois stations météorologiques**



3 SYSTÈMES INSTALLÉS

3.1 STATION MFQ

Un acquisiteur de données Campbell Scientific CR1000 collecte les données provenant d'une sonde de température et d'humidité relative HC2-S3-L, d'un moniteur de vent en version alpine 05103AP-10-L et d'un capteur de pression 61302V. La station est sur le toit d'un bâtiment. L'élévation de la station est de 702 mètres. En raison de la présence du bâtiment chauffé sous la station, les données de cette station sont utilisées exclusivement pour les opérations minières de MFQ.

Tableau 1 **Caractéristiques des sondes de la station météorologique MFQ**

Composants	Mesures	Min	Max	Précision	Seuil de départ
109-L	Température	-50°C	70°C	± 0,1°C	-
05103-10-L	Vitesse du vent	0 m/s	100 m/s	± 0,3 m/s	1,0 m/s
05103-10-L	Direction du vent	0°	355°	± 3°	1,1 m/s à 10°
61302V	Capteur de pression	-40°C	60°C	0,2 mb	-

3.2 STATION PW

Un acquisiteur de données Campbell Scientific CR300 collecte les données provenant d'une sonde de température 109-L et d'un moniteur de vent 05103-10-L de R.M. Young. L'acquisiteur CR300 est dans sa version Wi-Fi afin de pouvoir télécharger les données à distance. Les caractéristiques des sondes sont données au tableau 2. L'élévation de la station est de 695 mètres. Les instruments de mesure du vent, vitesse et direction, sont installés sur un mât de 10 mètres, conformément à la bonne pratique de l'organisation mondiale de la météorologie. Les données de cette station sont utilisées pour interpréter les données du suivi de la qualité de l'air, spécifiquement pour la station de suivi de la qualité de l'air adjacente à la station météorologique.

Tableau 2 Caractéristiques des sondes de la station météorologique PW

Composants	Mesures	Min	Max	Précision	Seuil de départ
109-L	Température	-50°C	70°C	± 0,1°C	-
05103-10-L	Vitesse du vent	0 m/s	100 m/s	± 0,3 m/s	1,0 m/s
05103-10-L	Direction du vent	0°	355°	± 3°	1,1 m/s à 10°

3.3 STATION POUDRIÈRE

Un acquisiteur de données Campbell Scientific CR216X collecte les données provenant d'un capteur sonique qui permet de mesurer l'épaisseur de la neige (SR50-AT) et également de mesurer la température. Un pluviomètre à bascule TE25WS-L est également installé. L'élévation de la station est de 702 mètres.

Tableau 3 Caractéristiques des sondes de la station météorologique Poudrière

Composants	Mesures	Min	Max	Précision	Seuil de départ
SR50-AT	Température	-45°C	50°C	± 0,75°C	-
SR50-AT	Distance	0,5 m	10 m	± 1 cm	-
TE25WS-L	Précipitations	0 mm	50 mm/h	± 1 %	-

Les fiches techniques des instruments sont présentées en annexe.

3.4 ENTRETIEN ET CALIBRATION

Aucune des stations météorologiques n'a été approuvée par le Ministère. Le matériel se compare à celui des stations d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). Les fiches techniques des appareils des stations se trouvent en annexe.

Les stations sont inspectées annuellement par le personnel du fabricant de ces stations. Les données récoltées aux stations sont analysées sur une base mensuelle et un rapport d'analyse complet est réalisé aux trois mois.

Campbell Scientific a réalisé plusieurs calibrations et entretiens de la station :

- Entretiens :
  - Entretien MFQ : les 2 décembre 2021 et 9 février 2022;
  - Entretien PW : le 2 décembre 2021

- Calibrations :
  - Calibration de la girouette du 05103-10-L le 28 mai 2019.

Les rapports de vérification des stations météorologiques réalisés par Campbell Scientific sont présentés en annexe.

3.5 VÉRIFICATION DES DONNÉES

Une vérification des données météorologiques est réalisée périodiquement afin d'évaluer la cohérence des données recueillies par les stations. Cette vérification s'effectue selon les éléments suivants :

- Vérification des critères du guide de surveillance de données météorologiques de l'EPA (EPA, 2000) pour la surveillance des données météorologiques;
- Comparaison des données recueillies par les stations au site MFQ avec celles obtenues à la station de l'Aéroport de Wabush.

Un exemple de rapport de vérification est présenté en annexe.

4 CONCLUSIONS

MFQ utilise trois stations météorologiques pour supporter ses opérations minières à son site du Lac Bloom. Deux de ces stations (MFQ et Poudrière) sont principalement utilisées pour la gestion opérationnelle alors que la troisième, PW, est celle utilisée en soutien à la gestion de la qualité de l'air.

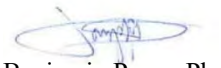
Ces stations sont étalonnées et entretenues annuellement par le personnel du fournisseur de ces stations.

Les données météorologiques des trois stations sont vérifiées périodiquement en fonction de critères de bonne pratique pour en établir la cohérence. Elles se comportent normalement. Les analyses statistiques démontrent une forte corrélation entre les stations MFQ, PW, Poudrière et la station de référence Wabush pour la température et la pression barométrique. Cela indique un comportement similaire à la station de référence Wabush et entre elles.

5 BIBLIOGRAPHIE

- MDDELCC, 2017. *Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques*. 95 p.
- OMM, 2011. *Guides pratiques climatologiques*. 152 p.
- Site internet : *What is Pearson correlation? Including test assumptions. (*http://toptipbio.com/what-is-pearson-correlation)
- Site internet : *How to perform a Pearson correlation test in excel?* (http://toptipbio.com/pearson-correlation-excel)
- Site internet : *Pearson correlation assumptions* (https://www.statisticssolutions.com/pearson-correlation-assumptions)
- US EPA, 2000. *Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications*. 171 p.

PRÉPARÉ PAR



Benjamin Parys, Ph. D.
Chargé de projet

RÉVISÉ PAR

Sylvain Marcoux, ing., MBA (OIQ #116307)
Directeur de projet

ANNEXE A

Fiches techniques

CAMPBELL SCIENTIFIC
WHEN MEASUREMENTS MATTER

109
Temperature Probe

Rugged, Accurate, Versatile

Can be used in a variety of applications

Overview

The 109 is a rugged, accurate probe that measures air, soil, and water temperature for a variety of applications. It consists of a thermistor encapsulated in an epoxy-filled aluminum housing. The housing protects the thermistor, allowing you to bury the 109 in soil or submerge it in water. The 109 measures from -50° to +70°C, and it outputs a 0 to 2.2 V signal when using 2500 mV excitation.

Benefits and Features

- Versatile product—measures air, soil, or water temperature
- Wide temperature measurement range
- Compatible with most Campbell Scientific data loggers
- Easy to install or remove
- Durable

Detailed Description

Air Temperature

When exposed to sunlight, the 109 should be housed in a 41303-5A, 41303-5B, or RAD06 6-plate radiation shield. The louvered construction of these radiation shields allows air to pass freely through the shield, thereby keeping the sensor at or near ambient temperature. The shields' white color reflects solar radiation

The RAD06 uses a double-louvered design that offers improved sensor protection from driving rain, snow, and insect intrusion, and it has lower self-heating in bright sunlight combined with higher temperatures (> 24°C [~75°F]) and low wind speeds (< 2 m s^{-1} [~4.5 mph]), giving a better measurement.

The 41303-5A and RAD06 attach to a crossarm, mast, or user-supplied pipe with a 2.5 to 5.3 cm (1.0 in to 2.1 in) outer diameter.

The 41303-5B attaches to a CM500-series pole or a user-supplied pole with a 5.1 cm (2.4 in) outer diameter.

Water Temperature

The sensor can be submerged to 15 m (50 ft) or 21 psi. The 109 is not weighted, and therefore the installer should either add a

weighting system or secure the sensor to a fixed, submerged object, such as a piling.

Soil Temperature

The 109 is suitable for shallow burial only. Placement of the sensor's cable inside a rugged conduit may be advisable for long cable runs—especially in locations subject to digging, mowing, traffic, use of power tools, or lightning strikes.

Specifications

Output	Analog
Operating Temperature Range	-50° to +70°C
Sensor Description	Measurement Specialties™ 10K3A1iA Thermistor
Tolerance	±0.2°C (over 0° to 70°C range)
Temperature Measurement Range	-50° to +70°C
Steinhart-Hart Equation Error	≤ 0.03°C (-50° to +70°C)
Interchangeability Error	±0.1°C (over 0° to 70°C range increasing to ±0.5°C at -50°C)
Time Constant in Air	30 to 60 s (in a wind speed of 5 m s^{-1})
Maximum Submergence	15 m (50 ft)
Maximum Cable Length	305 m (1000 ft)
Probe Length	10.4 cm (4.1 in.)
Probe Diameter	0.76 cm (0.3 in.)
Weight	136 g (5 oz) with 3.05-m (10-ft) cable

© 2020 Campbell Scientific, Inc. | 06/30/2020

CAMPBELL SCIENTIFIC
WHEN MEASUREMENTS MATTER

05103-L
Wind Monitor

Reliable, Accurate Wind Measurements

Compatible with most Campbell Scientific data loggers

Overview

The 05103 Wind Monitor is a lightweight, sturdy instrument for measuring wind speed and direction in your harsh environments. Its simplicity and corrosion-resistant construction make it ideal for a wide range of wind measuring applications. Manufactured by R. M. Young, this wind monitor is cabled for use with your Campbell Scientific data logger.

Benefits and Features

- Rugged enough for harsh environments
- Compatible with the CWS900-series interfaces, allowing it to be used in a wireless sensor network
- Constructed with thermoplastic material that resists corrosion from sea-air environments and atmospheric pollutants
- Uses stainless-steel, precision-grade ball bearings for the propeller shaft and vertical shaft bearings
- Ideal for wind profile studies
- Compatible with the LLAC4 4-channel Low-Level AC-Conversion Module, which increases the number of anemometers one data logger can measure

Detailed Description

The 05103 Wind Monitor is made out of rigid UV-stabilized thermoplastic with stainless steel and anodized aluminum fittings. The thermoplastic material resists corrosion from sea air environments and atmospheric pollutants. It uses stainless-steel precision-grade ball bearings for the propeller shaft and vertical shaft bearings.

The 05103 measures wind speed with a helicoid-shaped, four-blade propeller. Rotation of the propeller produces an ac sine wave that has a frequency directly proportional to wind speed. The ac signal is induced in a transducer coil by a six-pole magnet mounted on the propeller shaft. The coil resides on the non-rotating central portion of the main mounting assembly, eliminating the need for slip rings and brushes.

Wind direction is sensed by the orientation of the fuselage-shaped sensor body, which is connected to an internal potentiometer. The data logger applies a known precision excitation voltage to the potentiometer element. The output is an analog voltage signal directly proportional to the azimuth angle.

Specifications

Applications	Harsh (Rain with light snow. Little or no riming. Some blowing sand. No salt spray.)
Sensor	Helicoid-shaped, 4-blade propeller and fuselage-shaped sensor body
Measurement Description	Wind speed and direction
Operating Temperature Range	-50° to +50°C (assuming non-riming conditions)
Mounting Pipe Description	❱ 34 mm (1.34 in.) OD ❱ Standard 1.0-in. IPS schedule 40
Compliance with Standards	❱ 2011/65/EU RoHS Directive ❱ 2015/863/EU RoHS Phthalates Amendment
Housing Diameter	5 cm (2.0 in.)
Propeller Diameter	18 cm (7.1 in.)
Height	37 cm (14.6 in.)
Length	55 cm (21.7 in.)
Weight	1.5 kg (3.2 lb)

Wind Speed

Range	0 to 100 m/s (0 to 224 mph)
Accuracy	±0.3 m/s (±0.6 mph) or 1% of reading
Starting Threshold	1.0 m/s (2.2 mph)
Distance Constant	2.7 m (8.9 ft) 63% recovery
Output	ac voltage (three pulses per revolution)
	90 Hz (1800 rpm) = 8.8 m/s (19.7 mph)
Resolution	(0.0980 m s^{-1}) / (scan rate in seconds) **or** (0.2192 mph) / (scan rate in seconds)

Wind Direction

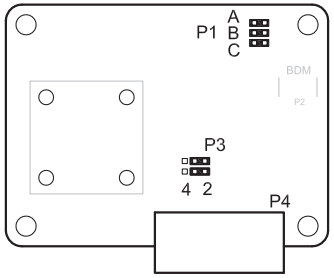
Mechanical Range	0 to 360°
Electrical Range	355° (5° open)
Accuracy	±3°
Starting Threshold	1.1 m/s (2.4 mph) at 10° displacement
Distance Constant	1.3 m (4.3 ft) 50% recovery
Damping Ratio	0.3
Damped Natural Wavelength	7.4 m (24.3 ft)
Undamped Natural Wavelength	7.2 m (23.6 ft)
Output	❱ Analog dc voltage from potentiometer (resistance 10 kohm) ❱ Life expectancy is 50 million revolutions. ❱ Linearity is 0.25%.
Voltage	Power switched excitation voltage supplied by data logger

For comprehensive details, visit: www.campbellsci.com/05103-l

© 2021 Campbell Scientific, Inc. | 03/25/2021

APPENDIX A

61302L BAROMETER
TYPICAL WIRING CONNECTIONS



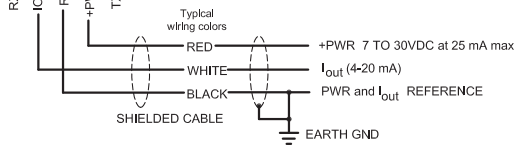
$$\text{Pressure} = \frac{(P_{RangeHI} - P_{RangeLO}) \times (I_{out} - 4)}{16} + P_{RangeLO}$$

EXAMPLE:
987.5 hPa = [(1100 - 500) x (17 mA - 4 mA)] / 16 mA + 500

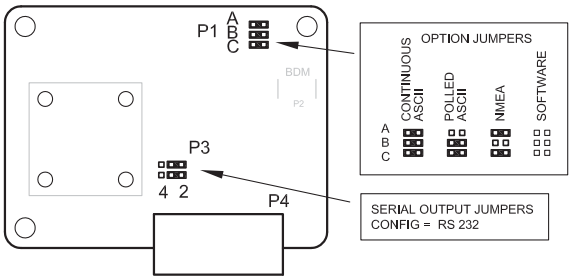
$$\text{Maximum } I_{out} \text{ load resistor (ohms)} = \frac{(V_{supply} - 6)}{0.02}$$

EXAMPLE:
900 ohms max load resistor = (24 V - 6) / 0.02A

4-20 mA CURRENT OUTPUT CONFIGURATION



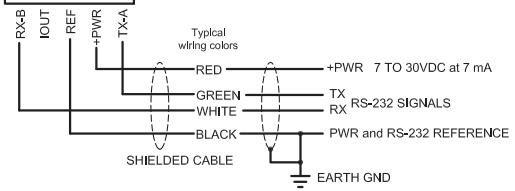
RS-232 SERIAL OUTPUT CONFIGURATION

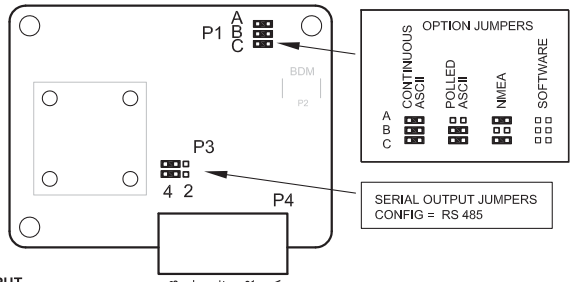


EXAMPLE
SERIAL OUTPUT STRINGS

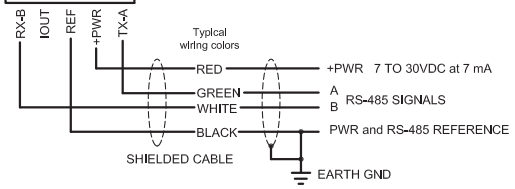
CONTINUOUS
and POLLED
ASCII OUTPUT:
1000.00<CR><LF>

NMEA OUTPUT:
$WIXDR,P,1.00000,B,BARO*73<CR><LF>





RS-485 SERIAL OUTPUT CONFIGURATION



INSTRUCTIONS

MODEL 61302L

BAROMETRIC PRESSURE SENSOR

CE

R.M. YOUNG COMPANY
2801 AERO PARK DRIVE, TRAVERSE CITY, MICHIGAN 49686, USA
TEL: (231) 946-3980 FAX: (231) 946-4772

PN 61302L-90
REV D101309

1.0 SPECIFICATIONS

Pressure	500 to 1100 hPa standard range
Digital Accuracy*	0.2 hPa (25°C) 0.3 hPa (-50°C to +60°C)
Analog Accuracy**	0.05% of analog pressure range
Analog Temperature Dependence**	0.0017% of analog pressure range per °C (25°C reference)

* Defined as ±1 standard deviation from NIST traceable pressure reference. Includes non-linearity, hysteresis, repeatability, and calibration uncertainty.

** Defined as ±1 standard deviation from ideal analog output. Total analog output accuracy is the root sum square of digital accuracy, analog accuracy, and analog temperature dependence.

Output Rate	1.8 Hz (max) to 1 per minute
Current Output	4 to 20 mA 12-bit resolution (1 in 4000) Selectable pressure range: 500 to 1100 hPa (standard)
Serial Output	Full-duplex RS-232 Half-duplex RS-485 1200 to 38400 baud Continuous ASCII text Polled ASCII text NMEA 0.01 hPa resolution
Supply Voltage	7 to 30 VDC 25 mA max in 4-20 mA mode 7 mA with serial I/O only
Case	Fiber-reinforced thermoplastic
Weight	44 g (1.5 oz)

2.0 INTRODUCTION

MODEL 61302L Barometric Pressure Sensor is a versatile electronic barometer featuring high accuracy, low power, wide operating temperature range, and calibrated 4-20 mA output, and RS-232/485 serial data I/O.

The 4-20 mA output and RS-485 serial I/O make the 61302L ideal for commercial and industrial applications that commonly use these signals.
Full scale current output may be set to span any portion of the 500 to 1100 hPa operating range. Serial output options include continuous or polled ASCII text output or NMEA marine output. The sensor is supplied with the following standard configuration:

> Current Output 4-20 mA = 500 to 1100 hPa
> RS-232 Continous ASCII text output
> 10 samples averaged
> 1.8 Hz update rate

3.0 INSTALLATION

The sensor operates over a temperature range of -50°C to +60°C and must remain dry.
Electrical connections are made with the 5-position terminal plug included with the sensor. Jumper settings may be used to select operating options. Access jumpers by loosening two screws in the sensor enclosure and removing the cover. See Appendix A for wiring details and jumper settings.

4.0 OPERATION

Operation begins approximately 1 second after power is applied. Output will appear after a delay determined by the number of samples averaged and the output rate. With default values (1.8 Hz output and 10 samples averaged), output begins after an initial 5 second delay then remains continuous at the 1.8 Hz rate. Parameters for output rate and number of samples averaged may be changed using software commands.

4.1 CURRENT OUTPUT

Calibrated 4-20 mA current output is always active. The connection scheme appears in the Appendix A Wiring Diagram.

The current output scale may be mapped to any part of the 500 to 1100 hPa pressure range using the IOUT HI and IOUT LO software parameters. The standard setting maps 4 to 20 mA with 500 to 1100 hPa. With this setting:

hPa = 37.5 * mA + 350
Effective resolution is about 0.15 hPa

Greater effective resolution may be achieved by mapping the current output to a narrower range of pressure with the IOUT HI and IOUT LO parameters. For example, with IOUT LO set to 950 hPa and IOUT HI set to 1050 hPa:

hPa = 6.25 * mA + 925
Effective resolution is about 0.025 hPa

Please see section 4.3 below for details on changing the IOUT HI and LO parameters.

4.2 SERIAL OUTPUT

The 61302L may be configured for either full-duplex RS-232 or half-duplex RS-485 serial communication. For RS-232 serial communication, both jumpers at P3 must be in position '2'. For RS-485 serial communication, both jumpers at P3 must be in position '4'. Jumper location details appear in the Appendix A Wiring Diagram.

Standard baud rate is 9600 but any of several available baud rates between 1200 and 38400 may be used.

Jumpers at P1 and software parameter settings determine serial output format.

Format	Description
Continuous ASCII Text (standard)	9600 baud 10 sample average 1.8 Hz output
Polled ASCII Text	9600 baud 10 sample average Output when polled
Marine NMEA	4800 baud 10 sample average 1 Hz output
Software	Output parameters determined by software settings

See Appendix A Wiring Diagram for details on jumper P1 configuration options and serial output examples.

In POLLED ASCII mode, the unit sends data only after receiving a poll command. The poll command is Ma! where 'a' is the address value. The standard address is '0' (ASCII 48) for a poll command of M0! Please see section 4.3 for details on changing the poll address.

Upon receiving a properly addressed poll command, the unit immediately sends data.

4.3 SOFTWARE COMMANDS

Software commands sent via serial communication may be used to set operational parameters. The sensor must be configured for serial communication and connected to a PC or other compatible device using a program like HyperTerm.

New settings are stored in temporary memory and must be burned to flash with command CMD420 to be retained.

Note that the P1 jumper must be configured for SOFTWARE format to change baud rate, sample average count, and output rate parameters.

Although the sensor may receive commands at any time, measurement output may be paused by sending three ESC (ASCII 27) characters or CMD300 1. While paused, COMMAND mode is indicated by a ">" prompt. All commands must be terminated with a carriage return CR (ASCII 13).

Use "?" to list available commands as shown below.

```
>?

YOUNG 61302L SERIES BAROMETER V2.02
---------------------------------------
CMD100 n   OUTPUT PERIOD (0-60 sec)
CMD105 n   AVG SAMPLE COUNT (0-32)
CMD110 n   OUTPUT FORMAT
          (1=ASCII 2=POLLED 3=NMEA 4-RAW 5-DIAG)
CMD120 n   MULTIPLIER (10000 = 1.0000)
CMD125 n   OFFSET (hPA x 100)
CMD130 n   SEA LEVEL CORRECTION (hPA x 100)
CMD140 n   IOUT RANGE HI (500-1100)
CMD142 n   IOUT RANGE LO (500-1100)
CMD150 c   POLL ADDR CHAR
CMD160 n   BAUD RATE (38400,9600,4800,2400,1200)
CMD300 n   1=STOP, 2=RUN
CMD310 n   FORCE IOUT (0-20000 FULL SCALE)
CMD400 n   1=RPT TEXT, 2=RPT CODE ONLY
CMD410     GET CAL TABLE
CMD420     STORE SETUP PARAMETERS

>
```

CMD100 n sets output period in seconds. When set to zero, the output rate is 1.8 per second.

CMD105 n sets the average sample count. Higher sample count yields more stable readings but will lengthen the startup delay.

CMD110 n sets output format.

CMD120 n sets the output multiplier. 10000 represents 1.0000

CMD125 n sets the output offset in hPa x 100

CMD130 n sets the sea level correction in hPa x 100

$$= \left[P_{unadjust} * \left(\text{Mult} / 10000\right)\right] + \left[\left(\text{Offset} / 100\right) + \left(\text{Correction}_{\text{Sea Lvl}} / 100\right)\right]$$

CMD140 n sets the IOUT Pressure Range HI

CMD142 n sets the IOUT Pressure Range LO
IOUT Pressure Range HI must be greater than IOUT Pressure Range LO

CMD150 c sets the poll address character. Any ASCII character from '0' (ASCII 48) to 'z' (ASCII 122) may be used.

CMD160 n sets the baud rate. Acceptable values are 38400, 9600, 4800, 2400, and 1200. Note that the baud rate change occurs immediately after the command is received. Therefore, in order to continue communicating, the serial communication program that issued the command must also change to match.

CMD300 n causes the sensor to pause or resume measurement. 1 = Stop, 2 = Run.

CMD400 n causes the sensor to issue a report summarizing parameter settings.
1 = Text (parameter values and labels)
2 = Code Only (parameter values only).

CMD420 burns the current parameter settings to flash memory. This step ***must*** take place to retain changes to settings otherwise parameters will revert to previous values at the next power up.

5.0 MAINTENANCE

The MODEL 61302L barometer requires no regular maintenance. Periodic calibration certification, if required, is available from the factory.

6.0 WARRANTY

This product is warranted to be free of defects in materials and construction for a period of 12 months from date of initial purchase. Liability is limited to repair or replacement of defective item. A copy of the warranty policy may be obtained from R. M. Young Company.

7.0 CE COMPLIANCE

This product complies with European CE requirements for the EMC Directive. Please note that shielded cable must be used.

Declaration of Conformity

R.M. Young Company
2801 Aero Park Drive
Traverse City, Mi 49686 USA

Model 61302L Barometric Pressure Sensor

The undersigned hereby declares, on behalf of R.M. Young Company the the above-referenced product, to which this declaration relates, is in conformity with the provisions of:

Council Directive 2004/108/EC (December 15, 2004) on Electromagnetic Compatibility;

David Poinsett
R & D Manager

End-of-Life Product[a]

COMPONENT

CAMPBELL SCIENTIFIC®
WHEN MEASUREMENTS MATTER

CR200X Series

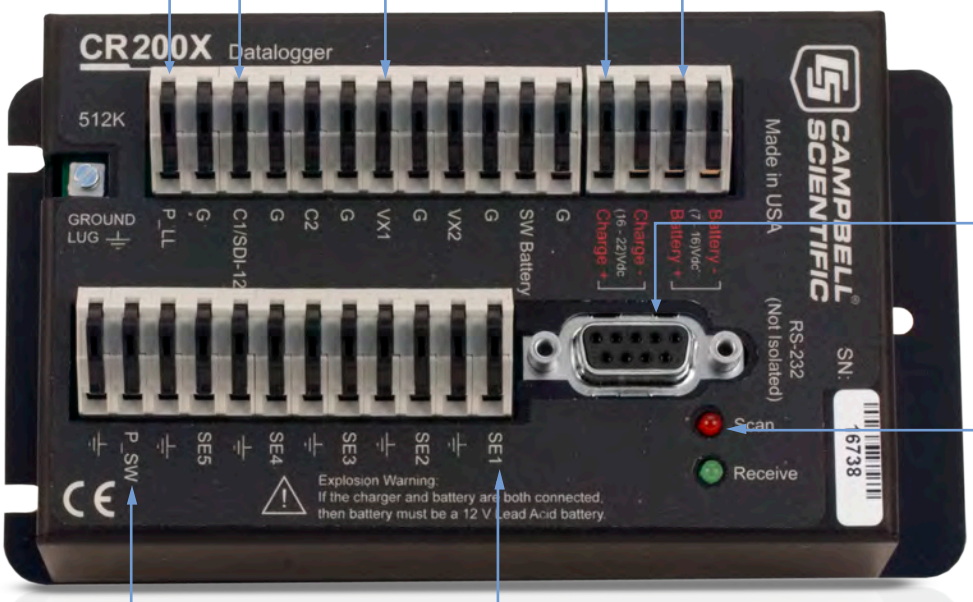
Measurement and Control Dataloggers

Rugged, Reliable, and Ready for any Application

More info: **435.227.9120**

campbellsci.com/cr200x-series

CR200X-Series[a] Dataloggers/Wireless Sensors



Switched Excitation Outputs
Provides programmable excitation for resistive bridge measurements

Digital I/O Ports
Control external devices and read SDI-12 sensors

Charger Input
Connect SP5-L solar panel or wall charger.

Pulse Counter
Measures pulse and low-level ac

Power In Terminals
Connect 12 Vdc battery

RS-232 Port
Connects to PCs, serial sensors, or RS-232 modems

LEDs
Indicate the datalogger is scanning, transmitting or receiving.

Pulse Counter
Measures pulse and switch closures

Single-Ended Analog Channels
Measures sensors with voltage outputs.

Benefits and Features

- Campbell Scientific's smallest, lowest cost datalogger
- Optimal for measuring one or two simple sensors
- 512 kB of flash final storage memory; ~125,000 data points
- Fastest scan rate of once per second
- 12-bit analog to digital conversions
- Gas Discharge Tube (GDT) protected inputs
- Data values stored in tables with a time stamp and record number
- Battery-backed clock that ensures accurate time is maintained while a CR200X-series datalogger is disconnected from battery power
- PakBus® communication protocol used, which is a simplified variation of Internet protocols

Input/Output Channels

Gas discharge tubes provide rugged electrostatic discharge protection for the inputs. The CR200X-series loggers have five single-ended analog inputs, one switch closure pulse input, one low level ac pulse input, two control ports, two excitation channels (2.5 or 5 V), and one switched battery output. One of the control ports can be used as an SDI-12 port. Input voltage range is 0 to +2500 mV with 0.6 mV resolution. Please note that differential measurements are not supported.

Program/Data Storage

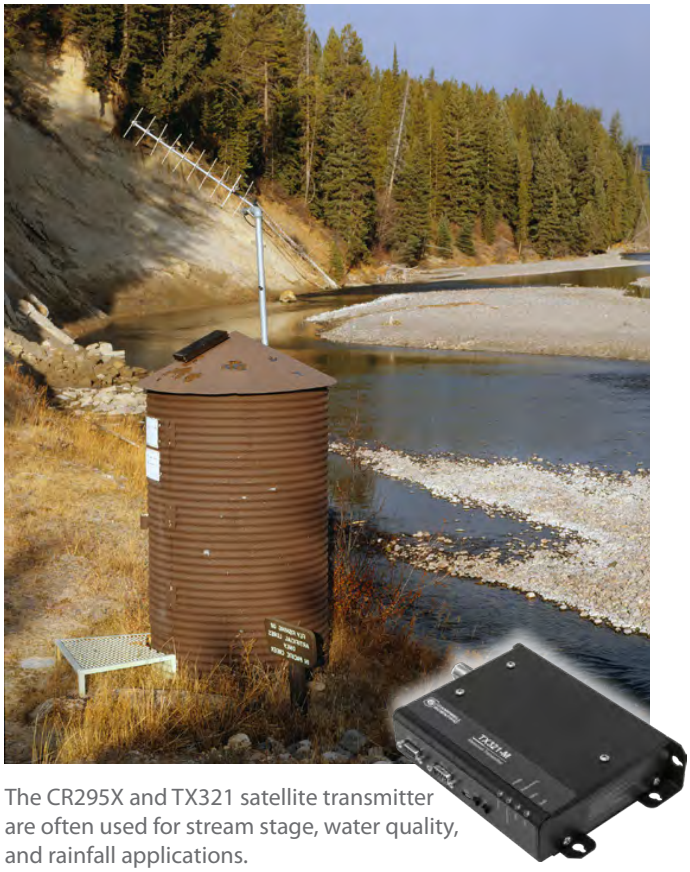
Programs and data are stored in a non-volatile Flash memory. Final storage has 512 kB of memory that provides approximately 125,000 data points in the table-based memory structure.

[a] ***End-of-Life Product:*** *For new projects, the CR300-series dataloggers are recommended instead of the CR200X-series dataloggers. The CR300-series dataloggers build on the successful features of the CR200X-series dataloggers, while adding new features. The CR200X-series dataloggers will continue to be available for customers with existing CR200X networks until 16 January 2018. Refer the to the CR200X-Series Datalogger Discontinuation Notice (https://s.campbellsci.com/documents/us/miscellaneous/CR200X-Series%20Datalogger%20Discontinuation%20Notice.pdf) for details.*

Models/Communications

All of the models can communicate with a PC via direct connect, NL201 Network Link Interface, NL240 Wi-Fi Network Link, MD485 multidrop modem, and our digital cellular modems. Data can also be viewed on an iOS device, an Android device, or CD295 DataView II Display. To use an iOS or Android device, go to the Apple Store or Google Play and get our LoggerLink Mobile Apps.

Other communications are model specific. The CR200X is the base datalogger (i.e., supports communications listed at right). Our CR206X, CR211X, and CR216X include an internal spread spectrum radio that allow them to communicate wirelessly. The CR295X includes an additional 9-pin serial port that allows communications with the TX321 satellite transmitter for GOES or Meteosat.



The CR295X and TX321 satellite transmitter are often used for stream stage, water quality, and rainfall applications.

Internal Spread Spectrum Radio of the CR206X, CR211X, and CR216X

Model	Where Used	Power	Frequency	Communicates With
CR206X	U.S., Canada	250 mW[b]	910 to 918 MHz	CR206(X), RF401A, RF401, RF400, CR205
CR211X	Australia, New Zealand	250 mW[b]	920 to 928 MHz	CR211(X), RF411A, RF411, RF410, CR210
CR216X[c]	many countries worldwide	50 mW	2.450 to 2.482 GHz	RF216(X), RF416, RF432, CR215, RF415

Software

Starter Software

Short Cut is available from our website (at no charge) and is bundled with our PC200W, PC400, and LoggerNet Software.

Our easy-to-use starter software is intended for first time users or applications that don't require sophisticated communications or datalogger program editing. SCWin Short Cut generates straight-forward datalogger programs in four easy steps. PC200W allows customers to transfer a program to, or retrieve data from a datalogger via a direct communications link. At www.campbellsci.com/downloads, the starter software can be downloaded at no charge.

Datalogger Support Software

Our datalogger support software packages provide more capabilities than our starter software. These software packages contains program editing, communications, and display tools that can support an entire datalogger network.

PC400, our mid-level software, supports a variety of telemetry options, manual data collection, and data display. For programming, it includes both Short Cut and the CRBasic program editor. PC400 does not support combined communication options (e.g., phone-to-RF), PakBus® routing, and scheduled data collection.

LoggerNet is Campbell Scientific's full-featured datalogger support software. It is referred to as "full-featured" because it provides a way to accomplish almost all the tasks you'll need to complete when using a datalogger. LoggerNet supports automatic data collection and PakBus® routing.

[b]*Older CR206X dataloggers (serial # < 19122) and older CR211X dataloggers (serial # < 19143) had 100 mW radios. Newer dataloggers that have 250 mW radios must use OS 3 or higher for their datalogger operating system.*

[c]*Purchase of this product is not recommended for new networks deployed in the European Union (EU) that may require future expansion. This and other RF compatible products will not be available for sale in Europe after 1/1/2015 due to changes in EU legislation.*

Enclosures

The ENC200 is a very small enclosure and has the dimensions of 17 cm by 14 cm by 9.4 cm (6.7 in by 5.5 in by 3.7 in).

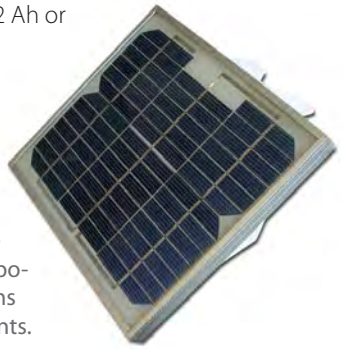
Applications with minimal power requirements can use the ENC200 enclosure to house the datalogger and the #16869 sealed rechargeable battery. This very small enclosure has one power connector, one antenna connector, and five compression fittings.

The ENC200 cannot house a barometer or a battery that is larger than the #16869. However, an ENC10/12 or ENC12/14 enclosure is adequate for most CR200X, CR206X, CR211X, or CR216X-based systems. An ENC16/18, ENC24/30, or ENC24/30S enclosure can house a CR295X-based system.

Power Supply

Sealed rechargeable battery options for the CR200X, CR206X, CR211X, or CR216X include the BP7 7 Ah battery and the #16869 0.8 Ah battery. These batteries should be recharged either with a solar panel or ac wall charger.

Campbell Scientific offers the SP5-L 5 W Solar Panel that attaches directly to the datalogger's terminal strip, and the SP5 5 W Solar Panel that plugs into the ENC200's power connector. AC wall charger options are the #15988 wall charger that attaches directly to the datalogger's terminal strip, and the #16876 wall charger that plugs into the ENC200's power connector. Typical power supply for a CR295X-based system consists of a BP12 12 Ah or BP24 24 Ah battery pack, CH150 or CH200 regulator, and SP10 10 W or SP20 20 W solar panel.



The SP5 and SP5-L are suitable for sites with good exposure to sunlight and systems with low power requirements.

Antennas and Antenna Accessories

CR206X and CR211X Antennas

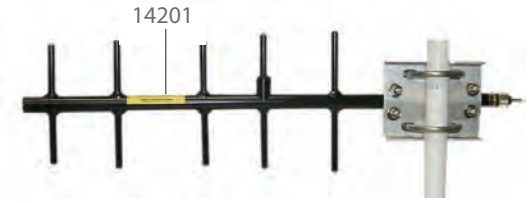
- **14204**—0 dBd, omnidirectional ½ wave whip, jointed, adjustable from 0° to 90°. Connects directly to the datalogger; no antenna cable needed.
- **15970**—1 dBd, dipole supplied with window/wall mount and a 10 foot RG-174 cable for connecting to the datalogger.
- **14221**—3 dBd, omnidirectional with mounts; requires an antenna cable to connect to the datalogger.
- **14201**—9 dBd, Yagi with mounts; requires an antenna cable to connect to the datalogger.

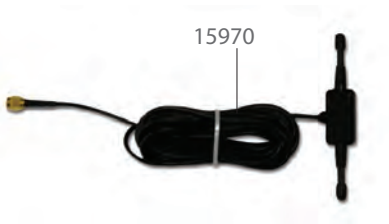
CR216X Antennas

- **16005**—0 dBd, ½ wave whip articulating. Connects directly to the datalogger; no antenna cable needed.
- **30411**—5.8 dBd (8 dBi), omnidirectional that uses the 13906 mounting hardware; requires an antenna cable to connect to the datalogger.
- **16755**—13 dBd, Yagi with mounts; requires an antenna cable to connect to the datalogger.

Antenna Cables and Surge Protector Kit

- **COAXRPSMA-L**—low-loss RG58 cable that is recommended for lengths less than 3 m (10 ft).
- **COAXNTN-L**—low-loss RG8 cable that is recommended for lengths greater than 3 m (10 ft); requires a 31314 surge protector kit.
- **31314**—Surge Protector Kit used with the COAXNTN-L coaxial cable.





Compatible Sensors[d]

The CR200X-series dataloggers can measure a variety of sensors including SDI-12 sensors and 4 to 20 mA sensors. The parameters and sensors in which the CR200X series can measure are listed below:

- **AC Current**—CS11 Current Transformer.
- **Barometric Pressure**—CS100, CS106, and 092 barometers.
- **Evaporation**—255-100 Evaporation Gauge.
- **Geographic Position**—GPS16X-HVS GPS Receiver
- **Leaf Wetness**—237 and LWS leaf wetness sensors.
- **Precipitation**—TE525, TE525WS, TE525MM, TB4, TB4MM, CS700, and 52202 tipping bucket rain gages.
- **Relative Humidity**—CS215, HMP60, EE181, HC2S3, 083E, and HMP155A air temperature and relative humidity probes.
- **Snow Depth**—SR50A- and SR50AT-series Sonic Ranging Sensors.
- **Soil Volumetric Water Content**—CS650 and CS655 reflectometers. *Our CS616 reflectometer is not compatible.*
- **Solar Radiation**—CS300 pyranometer, CS320 pyranometer, and SP230 heated pyranometer. *Our LI200R, LI190R, LP02, CMP3, CMP6, CMP11, CMP21, NR-LITE2, NR01, and CNR4 probes are not compatible.*
- **Temperature**—109, 109SS, and 110PV thermistors. *Other temperature probes listed on our price lists including our 107/108 thermistors and thermocouples are not compatible.*
- **Water Level**—CS451, CS456, and CS460 pressure transducers; CS410 Shaft Encoder; CS475A and CS477 pulse radar sensors, and SR50A- and SR50AT-series Sonic Ranging Sensors.
- **Water Quality**—OBS-3+, OBS300, OBS500, and OBS501 turbidity probes; 109 and 109SS temperature probes, and CS511 dissolved oxygen probe. *Our CS526, CS547A, CSIM11, CSIM11-ORP, 107, and 108 probes are not compatible.*
- **Wind Speed and Direction**—014A, 024A, 034B, 200P, 020C, 03101, 03002, 05103, 05108, 05108-45, 05305, 27106T, ICEFREE3A, ICEFREE3V, P2546A, A100LK, and WindSonic4 sensors. *The CSAT3 series, WindSonic1, and Zephir300 are not compatible.*

---

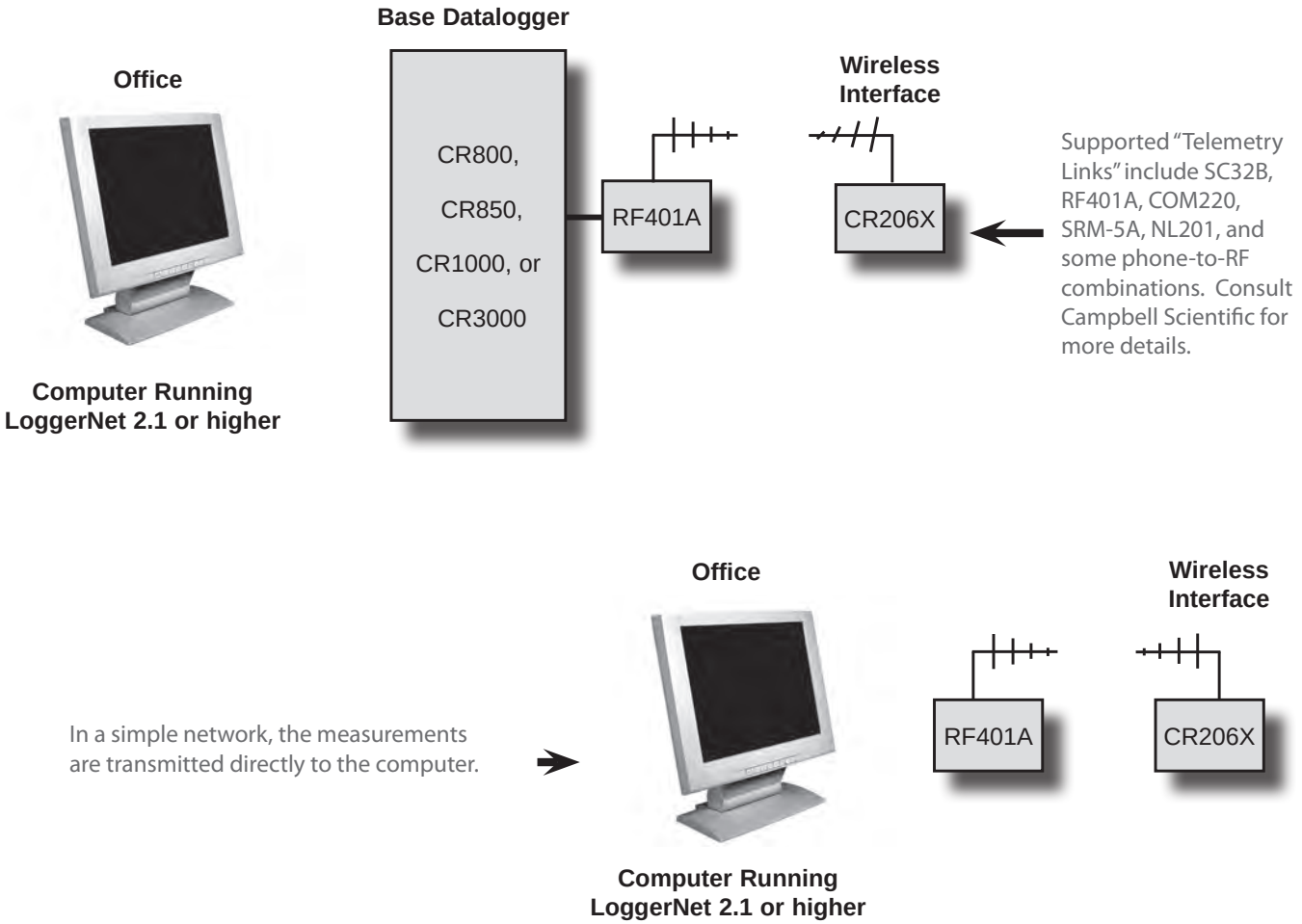
[d]The CR200X-series dataloggers can not make differential measurements. They are not compatible with the freezing-rain/ice, fuel moisture/temperature, present weather, soil heat flux, snow water equivalent, soil matric water potential, strain, and visibility sensors listed on our price lists. Campbell Scientific's SDMs, CDMs, and multiplexers are also not supported.

CS655 Soil Water Content Reflectometer

03002 Wind Sentry Set

109 thermistor

CR206X/RF401A-based Wireless Sensor Networks



Applications

Wireless Sensor Networks

The CR206X, CR211X, and CR216X can be used in a wireless sensor network. Wireless sensor networks are appealing because they are often more economical than trenching, laying conduit, and pulling wire. In some applications, cabled sensors are impractical due to man-made or natural causes, including construction, lightning, moving platforms, agricultural production, or bodies of water.

The diagrams at the top of the page depict our CR206X/RF401A-based wireless sensor networks. Our CR211X/RF411A-based and CR216X/RF416-based networks are similar.

All wireless sensor networks require LoggerNet 2.1 or higher software. The base datalogger must use the PakBus communication protocol. The PakBus protocol was optional for our retired CR510, CR10X, and CR23X dataloggers; the PakBus operating system is available, at no charge, from: www.campbellsci.com/downloads for these dataloggers.

Other Applications

- **Aquaculture**—monitors and records water quality around the clock providing continuous data that can be used to identify trends and improve production.
- **Rural Water**—provides continuous monitoring of the water system regardless of time of day or time of year. All monitored sites can be networked into one integrated system.
- **Water Level/Flow**—measures level in many environments including wells, dams, streams, weirs, and water treatment or wastewater treatment plants. Compatible with shaft encoder, pressure transducers, compact bubblers, radar water level sensors, and sonic ranging sensor.
- **Water Quality**—monitors and records water temperature, pH, dissolved oxygen, and turbidity.
- **Wind Energy**—can be deployed in a wireless network configuration to provide cost effective monitoring at each level of a wind assessment tower while avoiding long cables.

CR200X-series Datalogger Specifications

Electrical specifications are valid over a -40° to +50°C range unless otherwise specified; non-condensing environment required. We recommend that you confirm system configuration and critical specifications with Campbell Scientific before purchase.

ANALOG INPUTS; DIGITAL I/O

Channels SE1 to SE5 can be individually configured for single-ended measurement or digital I/O.

SINGLE-ENDED MEASUREMENT (SE1 TO SE5):
- Analog Input Range: 0 ≤ V < 2.5 Vdc
- Measurement Resolution: 0.6 mV
- Measurement Accuracy
  - Typical: ±(0.25% of reading + 1.2 mV offset) over -40° to +50°C
  - Worst-case: ±(1% of reading + 2.4 mV offset) over -40° to 50°C

DIGITAL I/O (SE1 TO SE5):
- Input/Output High State: 2.1 to 3.3 Vdc
- Input/Output Low State: <0.9 Vdc
- Output High State: 3.3 V (no load)
- Drive Current: 220 µA @ 2.7 Vdc
- Maximum Input Voltage: 4 Vdc

HALF BRIDGE MEASUREMENTS:
- Accuracy: Relative to the excitation. Using +2.5 Vdc excitation, is ±(0.06% of reading + 2.4 mV)/(2.5 Vdc)

PERIOD AVERAGING (SE1 TO SE4):
- Maximum Input Voltage: 4 Vdc
- Frequency Range: 0 to 150 kHz
- Voltage Threshold: counts cycles on transition from <0.9 Vdc to >2.1 Vdc

EXCITATION CHANNELS (VX1 AND VX2):
- Range: Programmable 0, 2.5, 5 Vdc, or off (floating)
- Accuracy: ±25 mV on +2.5 Vdc range, ±125 mV on +5.0 Vdc range
- Maximum Current: 25 mA on +2.5 Vdc range, 10 mA on +5.0 Vdc range

CONTROL PORTS (C1 AND C2)

DIGITAL I/O:
- Voltage Level When Configured as Input: <0.9 Vdc (low state) to >2.7 Vdc (high state)
- Voltage Level When Configured as Output: 0 V (low state), 5 Vdc (high state) (no load)
- Logic Level: TTL
- Drive Current: 1.5 mA @ 4.5 V

SDI-12: SDI-12 sensors connect to C1

PULSE COUNTERS

SWITCH CLOSURE (P_SW):
- Maximum Count Rate: 100 Hz
- Minimum Switch Open Time: 5 ms
- Minimum Switch Closed Time: 5 ms
- Maximum Bounce Time: 4 ms

PULSE COUNT (P_SW, C1, AND C2):
- Voltage Threshold: count on transition from <0.9 V to >2.7 Vdc
- Minimum Pulse Width: 320 µs
- Maximum Input Frequency: 1 kHz
- Max Input Voltage: C1 & C2 (6.5 V), P_SW (4 Vdc)

LOW LEVEL AC (P_LL):
- Voltage Threshold: <0.5 to >2 V
- Minimum Input: 20 mV RMS
- Maximum Frequency: 1 kHz
- Maximum Input: ±20 V

Note: C1 and C2 can be used for switch closure using the battery voltage and a 100 kOhm pull-up resistor. If the dc offset is >0.5 V, then AC coupling is required.

COMMUNICATIONS

SERIAL INTERFACE: Female RS-232 9-pin interface for logger-to-PC communications

ON-BOARD SPREAD SPECTRUM RADIO:
- Frequency: 915 MHz (CR206X), 922 MHz (CR211X), or 2.4 GHz (CR216X)
- Transmission Range: 1 mile with 0 dBd ¼ wave antenna (line-of-sight) and 900 MHz radios; 0.6 miles (1 km) with 0 dBd ½ wave antenna (line-of-sight) and 2.4 GHz radio; up to 10 miles with higher gain antenna (line-of-sight)
- RF4XX used as a base station radio
- Transmitter Power Output: 250 mW (CR206X, CR211X); 50 mW (CR216X)

AVAILABLE RADIO TRANSMISSION MODES:
- Always on, program controlled
- Cycle Time: 1 or 8 s cycles; on for 100 ms every period; checks for incoming communication
- Scheduled Transmission Time: off until transmission time
- PakBus® packet switching network protocol

CLOCK ACCURACY

8.2 minutes/month @ -40° to +50°C; 1 minute/month @ +25°C

CPU AND STORAGE

FINAL STORAGE: 512 kB flash memory, data format is 4 Bs per data point

INTERMEDIATE STORAGE: 8 kB SRAM

COMPILED PROGRAM STORAGE: up to 19.2 kB flash memory depending on structure of CRBasic program

OPERATING SYSTEM: 106 kB flash memory

FASTEST SCAN RATE: once per second

SWITCHED BATTERY (SW BATTERY)

Switched under program control. Thermal fuse hold current = 670 mA @ -40°C; 500 mA @ 20°C; 290 mA @ 70°C

POWER

BATTERY VOLTAGE RANGE: 7 to 16 Vdc (can program datalogger to measure internal battery voltage)

MAXIMUM CONTINUOUS BATTERY CHARGING CURRENT:
0.9 A @ 20°C; 0.65 A @ 50°C

RECOMMENDED BATTERIES: 12 Vdc, 7 Ah or smaller sealed rechargeable battery when connected to the on-board charging circuit. Using larger batteries with the datalogger's built-in charger may result in excessive PC board heating. This is especially a concern when the battery is deeply discharged or failing with a shorted cell. Alkaline cells, lithium, or other non-rechargeable battery types may be connected if the charging circuit is not used (i.e., nothing connected to Charge terminals).

CHARGER INPUT VOLTAGE: 16 to 22 Vdc

SOLAR PANEL: 10 W or smaller when using on-board charging circuit.

WALL CHARGER: 1 A or smaller when using on-board charging circuit.

SHELF LIFE OF CLOCK'S BACKUP BATTERY: 5 years

CURRENT DRAIN (@12 V)

QUIESCENT CURRENT DRAIN:
No Radio or Radio Powered Off: ~0.2 mA

ACTIVE CURRENT DRAIN:
- No radio ~3 mA
- Radio receive ~20 mA (CR206X, CR211X), ~36 mA (CR216X)
- Radio transmit ~75 mA (CR206X, CR211X, CR216X)

AVERAGE CONTINUOUS CURRENT DRAIN:
- Radio always on ~20 mA (CR206X, CR211X), ~36 mA (CR216X)
- Radio in 1 s duty cycle ~2.2 mA (CR206X, CR211X),~4 mA (CR216X)
- Radio in 8 s duty cycle ~0.45 mA (CR206X, CR211X), ~0.8 mA (CR216X)

CE COMPLIANCE (as of 10/15)

CE COMPLIANT DATALOGGERS: CR200X

STANDARD(S) TO WHICH CONFORMITY IS DECLARED: IEC61326:2002

EMI AND ESD PROTECTION

IMMUNITY: Meets or exceeds following standards:
- ESD: per IEC 1000-4-2; ±8 kV air, ±4 kV contact discharge
- RF: per IEC 1000-4-3; 3 V/m, 80-1000 MHz
- EFT: per IEC 1000-4-4; 1 kV power, 500 V I/O
- Surge: per IEC 1000-4-5; 1 kV power and I/O
- Conducted: per IEC 1000-4-6; 3 V 150 kHz-80 MHz

Emissions and immunity performance criteria available on request.

PHYSICAL

CASE DESCRIPTION: Aluminum with spring-loaded terminals

DIMENSIONS (including terminals):
14.0 cm x 7.6 cm x 5.1 cm; 5.5 in x 3 in x 2 in

WEIGHT:
CR200X or CR295X: 242 g (8.5 oz)
CR206X, CR211X, or CR216X: 271 g (9.5 oz)

CUSTOM CASE: available for OEM applications; contact Campbell Scientific

WARRANTY

Three year covering parts and labor.

CAMPBELL SCIENTIFIC
WHEN MEASUREMENTS MATTER

Global Sales & Support Network

A worldwide network of companies to help meet your needs

Australia
Location: Garbutt, QLD Australia
Phone: 61.7.4401.7700
Email: info@campbellsci.com.au
Website: www.campbellsci.com.au

Brazil
Location: São Paulo, SP Brazil
Phone: 11.3732.3399
Email: vendas@campbellsci.com.br
Website: www.campbellsci.com.br

China
Location: Beijing, P. R. China
Phone: 86.10.6561.0080
Email: info@campbellsci.com.cn
Website: www.campbellsci.com

Canada
Location: Edmonton, AB Canada
Phone: 780.454.2505
Email: dataloggers@campbellsci.ca
Website: www.campbellsci.ca

Costa Rica
Location: San Pedro, Costa Rica
Phone: 506.2280.1564
Email: info@campbellsci.cc
Website: www.campbellsci.cc

France
Location: Antony, France
Phone: 0033.0.1.56.45.15.20
Email: info@campbellsci.fr
Website: www.campbellsci.fr

Germany
Location: Bremen, Germany
Phone: 49.0.421.460974.0
Email: info@campbellsci.de
Website: www.campbellsci.de

South Africa
Location: Somerset West, South Africa
Phone: 27.21.8800885
Email: cleroux@csafrica.co.za
Website: www.csafrica.co.za

Spain
Location: Barcelona, Spain
Phone: 34.93.2323938
Email: info@campbellsci.es
Website: www.campbellsci.es

UK
Location: Shepshed, Loughborough, UK
Phone: 44.0.1509.601141
Email: sales@campbellsci.co.uk
Website: www.campbellsci.co.uk

USA
Location: Logan, UT USA
Phone: 435.227.9000
Email: info@campbellsci.com
Website: www.campbellsci.com

Other Locations
Sales and support are provided in many other locations through an extensive network of international reps. For the full list, please visit ***www.campbellsci.com/directory***.

© 2009, 2018
Campbell Scientific, Inc.
January 5, 2018

CAMPBELL SCIENTIFIC
WHEN MEASUREMENTS MATTER

CR300

Measurement and Control Datalogger

Compact Data Logger

Ideal for small applications

Overview

The CR300 is a multi-purpose, compact measurement and control data logger. This small, low-cost, high-value data logger offers fast communications, low power requirements, built-in USB, and excellent analog input accuracy and resolution. The CR300 can measure most hydrological, meteorological, environmental, and industrial sensors. It concentrates data, makes it available over varied networks, and delivers it using your preferred protocol. It also performs automated on-site or remote decision making for control and M2M communications. The CR300 is ideal for small applications requiring long-term, remote monitoring and control.

The CR300 includes Wi-Fi, cellular, or the following radio options for different regions:

- CR300-RF407: US and Canada
- CR300-RF412: Australia and New Zealand
- CR300-RF422: Europe
- CR300-RF427: Brazil

Note: Campbell Scientific does not recommend the CR300 for use as a PakBus router in networks with more than 50 devices. Large arrays or string variables may also reach memory limits. For such applications, a CR1000X Measurement and Control Datalogger is recommended.

Benefits and Features

- Connects directly to a computer's USB port
- Differentiates even slight changes in data values with higher resolutions measurements (24 bit Adc)
- Provides simple serial sensor integration and measurement with SDI-12 and/or RS-232
- Supports full PakBus networking
- Includes embedded web page for direct connection via web browser

Detailed Description

The CR300 is a low-powered data logger designed to measure sensors, analyze data, and store data and programs. A battery-backed clock assures accurate timekeeping. The on-board, BASIC-like programming language—common to all Campbell Scientific data loggers—supports data processing and analysis

routines.

The CR300 wiring panel includes a switchable 12 V terminal, and analog grounds dispersed among six analog terminals.

Specifications

-NOTE-	*Additional specifications are listed in the CR300-Series Specifications Sheet.*
Operating Temperature Range	❱ -40° to +70°C (standard) ❱ *Non-condensing environment*
Maximum Scan Rate	10 Hz
Case Material	Powder-coated aluminum
Analog Inputs	6 single-ended or 3 differential (individually configured)
Pulse Counters	8 (P_SW, P_LL, C1, C2, and SE1 to SE4)
Voltage Excitation Terminals	2 (VX1, VX2)
Communications Ports	❱ USB Micro B ❱ RS-232
Switched 12 Volt	1 terminal
Digital I/O	7 terminals (C1, C2, P_SW, and SE1 to SE4) configurable for digital input and output. Includes status high/low, pulse width modulation, external interrupt, and communication functions. Exception: The SE4 terminal doesn't do external interrupt.
Input Limits	-100 to +2500 mV
Analog Voltage Accuracy	❱ Accuracy specifications do not include sensor or measurement noise. ❱ ±(0.04% of measurement + offset) at 0° to 40°C ❱ ±(0.1% of measurement + offset) at -40° to +70°C
ADC	24-bit
Power Requirements	16 to 32 Vdc for charger input (CHG) (Current limited to 0.9 A maximum for power converter or solar panel input.)
Real-Time Clock Accuracy	±1 min. per month
Internet Protocols	Ethernet, PPP, RNDIS, ICMP/Ping, Auto-IP(APIPA), IPv4, IPv6, UDP, TCP, TLS (v1.2), DNS, DHCP, SLAAC, NTP, Telnet, HTTP(S), FTP(S), SMTP/TLS, POP3/TLS
Communication Protocols	PakBus, Modbus, DNP3, SDI-12, TCP, UDP, and others
CPU Drive/Programs	80 MB serial flash
Data Storage	30 MB serial flash
Idle Current Drain, Average	1.5 mA (@ 12 Vdc)
Active Current Drain, Average	❱ 5 mA (@ 12 Vdc for 1 Hz scan with 1 analog measurement) ❱ 23 mA (@ 12 Vdc with processor always on)
Dimensions	13.97 x 7.62 x 4.56 cm (5.5 x 3.0 x 1.8 in.) Additional clearance required for cables and leads.
Weight	242 to 250 g (0.53 to 0.55 lb) depending on communication option selected

CR300-RF407 Option

Radio Type	Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
Output Power	5 to 250 mW (user-selectable)
Frequency	902 to 928 MHz (US, Canada)
RF Data Rate	200 kbps
Receive Sensitivity	-101 dBm
Antenna Connector	RPSMA (External antenna required; see www.campbellsci.com/order/rf407 for Campbell Scientific antennas.)
Idle Current Drain, Average	12 mA (@ 12 Vdc)
Active Current Drain, Average	< 80 mA (@ 12 Vdc)

CR300-RF412 Option

Radio Type	Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
Output Power	5 to 250 mW (user-selectable)
Frequency	915 to 928 MHz (Australia, New Zealand)
RF Data Rate	200 kbps
Receive Sensitivity	-101 dBm
Antenna Connector	RPSMA (External antenna required; see www.campbellsci.com/order/rf412 for Campbell Scientific antennas.)
Idle Current Drain, Average	12 mA (@ 12 Vdc)

Active Current Drain, Average	< 80 mA (@ 12 Vdc)

CR300-RF422 Option

Radio Type	868 MHz SRD 860 with Listen Before Talk (LBT) and Automatic Frequency Agility (AFA)
Output Power	2 to 25 mW (user-selectable)
Frequency	863 to 870 MHz (European Union)
RF Data Rate	10 kbps
Receive Sensitivity	-106 dBm
Antenna Connector	RPSMA (External antenna required; see www.campbellsci.com/order/rf422 for Campbell Scientific antennas.)
Idle Current Drain, Average	9.5 mA
Active Current Drain, Average	20 mA

CR300-RF427 Option

Radio Type	Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
Output Power	5 to 250 mW (user-selectable)
Frequency	902 to 907.5 MHz/915 to 928 MHz (Brazil)
RF Data Rate	200 kbps
Receive Sensitivity	–101 dBm
Antenna Connector	RPSMA (External antenna required.)
Idle Current Drain, Average	12 mA (@ 12 Vdc)
Active Current Drain, Average	< 80 mA (@ 12 Vdc)

CR300-WIFI Option

Operational Modes	Client or Access Point
Operating Frequency	2.4 GHz, 20 MHz bandwidth
Antenna Connector	Reverse Polarity SMA (RPSMA)
Antenna	pn 16005 unity gain (0 dBd), 1/2 wave whip, omnidirectional with articulating knuckle joint for vertical or horizontal orientation
Transmit Power	7 to 18 dBm (5 to 63 mW)

CR300-CELL205 Option

-NOTE-	*The CR300-CELL205 option is not compatible with a Verizon cellular network.*
Certifications	IC (Industry Canada) 10224A-201611EC21A
Cell Technologies	3G (UMTS/HSPA+) 4G (LTE CAT-1)
3G Frequency Bands	850, 1700/2100 (AWS), and 1900
4G Frequency Bands	700, 850, 1700/2100 (AWS-1), 1900
Antenna Connector	SMA (External antenna required; see www.campbellsci.com/order/cr300 for Campbell Scientific antennas.)
SIM Interface	3FF (6 position/contacts) Supports SIMs that require 1.8 or 3 V.
Radio Output Power	23 dBm on LTE 24 dBm on UMTS 27 dBm on EDGE 33 dBm on GSM
Radio Sensitivity Range	-99.5 to 110.5 dBm (10 M)

CR300-CELL210 Option

-NOTE-	*The CR300-CELL210 option is only compatible with a Verizon cellular network.*
Cell Technologies	4G (LTE CAT-1)
4G Frequency Bands	700, 850, 1700, 1900, 2100
Antenna Connector	SMA (External antenna required; see www.campbellsci.com/order/cr300 for Campbell Scientific antennas.)
Power Consumption - Low Power Mode	5 mA
Power Consumption - Idle	35 mA
Power Consumption - Active	70 mA
SIM Interface	3FF (6 position/contacts) Supports SIMs that require 1.8 or 3 V.
Radio Output Power	23 dBm on LTE
Radio Sensitivity Range	-99.5 to 110.5 dBm (10 M)

CR300-CELL215 Option

-NOTE-	*The CR300-CELL215 option is intended for use in EMEA countries.*
Cell Technologies	2G (GSM/GPRS/EDGE) 3G (UMTS/HSPA+) 4G (LTE CAT-1)
2G Frequency Bands	900 and 1800 MHz
3G Frequency Bands	850, 900, and 2100 MHz
4G Frequency Bands	800, 850, 900, 1800, 2100, and 2600 MHz

Antenna Connector	SMA (External antenna required; see www.campbellsci.com/order/cr300 for Campbell Scientific antennas.)
SIM Interface	3FF (6 position/contacts) Supports SIMs that require 1.8 or 3 V.
Radio Output Power	❱ 23 dBm on LTE ❱ 24 dBm on UMTS ❱ 27 dBm on EDGE ❱ 33 dBm on GSM
Radio Sensitivity Range	-99.5 to 110.5 dBm (10 M)

CR300-CELL220 Option

-NOTE-	*The CR300-CELL220 option is intended for use in Australia and New Zealand.*
Cell Technologies	❱ 3G (UMTS/HSPA+) ❱ 4G (LTE CAT-1)
3G Frequency Bands	❱ 850 and 2100 MHz (EC-21AUT) ❱ 850, 900, 1900, and 2100 MHz (EC-21AU)
4G Frequency Bands	❱ 700, 850, 1800, 2100, and 2600 MHz (EC-21AUT) ❱ 700, 900, 1700, 1800, 1900, 2100, and 2600 MHz (EC-21AU)
Antenna Connector	SMA (External antenna required; see www.campbellsci.com/order/cr300 for Campbell Scientific antennas.)
SIM Interface	3FF (6 position/contacts) Supports SIMs that require 1.8 or 3 V.
Radio Output Power	❱ 23 dBm on LTE ❱ 24 dBm on UMTS
Radio Sensitivity Range	-99.5 to 110.5 dBm (10 M)

CR300-CELL225 Option

-NOTE-	*The CR300-CELL225 option is intended for use in Japan.*
Cell Technologies	4G (LTE CAT-1)
4G Frequency Bands	800 (lower), 800 (upper), 850+, 900, 1800, and 2100 MHz
Antenna Connector	SMA (External antenna required; see www.campbellsci.com/order/cr300 for Campbell Scientific antennas.)
SIM Interface	3FF (6 position/contacts) Supports SIMs that require 1.8 or 3 V.
Radio Output Power	23 dBm on LTE
Radio Sensitivity Range	-99.5 to 110.5 dBm (10 M)

© 2022 Campbell Scientific, Inc. | 07/28/2022

CAMPBELL SCIENTIFIC®
WHEN MEASUREMENTS MATTER

CR1000

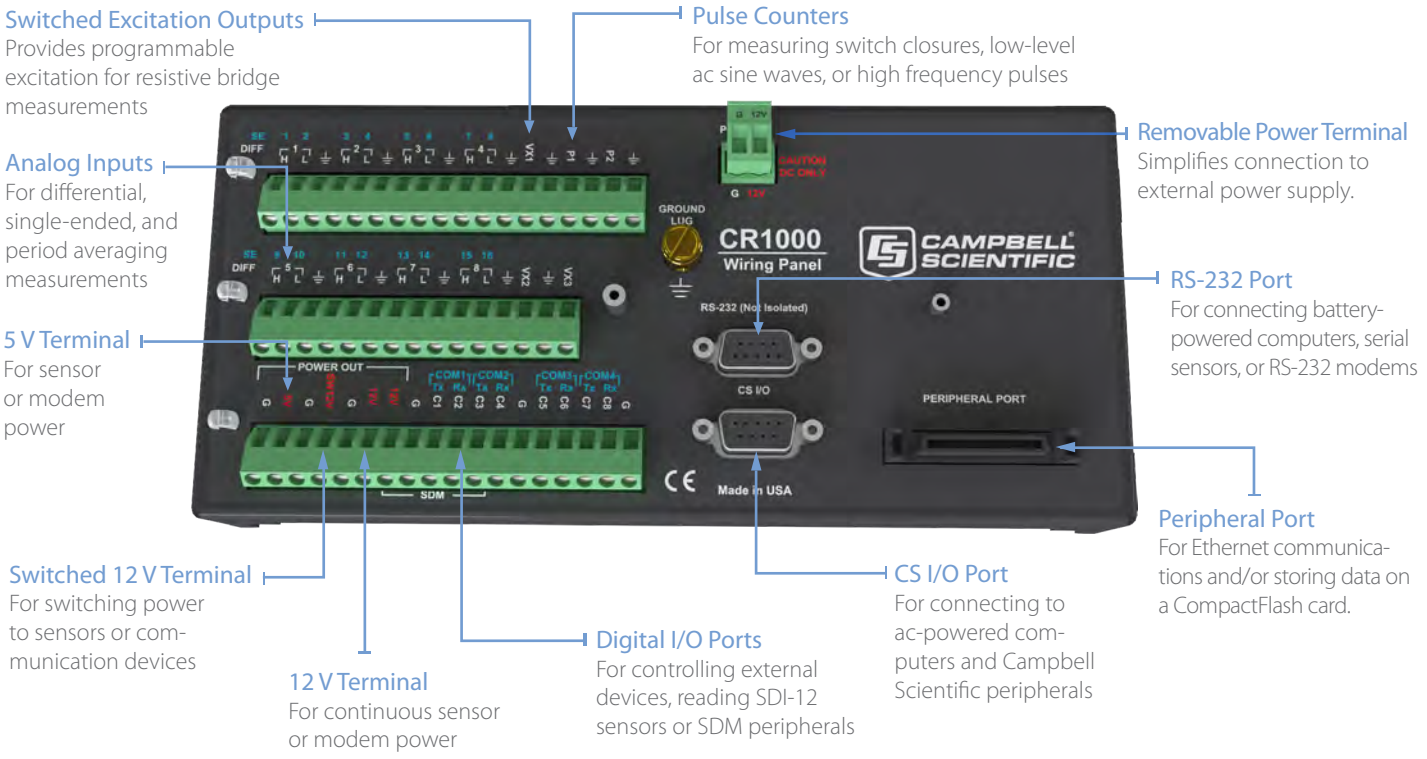
Measurement and Control Datalogger

Rugged, Reliable, and Ready for any Application

More info: **435.227.9120**
campbellsci.com/cr1000

CR1000 Measurement and Control Datalogger

The CR1000 provides precision measurement capabilities in a rugged, battery-operated package. It consists of a measurement and control module and a wiring panel. Standard operating range is -25° to +50°C; an optional extended range of -55° to +85°C is available.



Benefits and Features

- 4 MB memory*
- Program execution rate of up to 100 Hz
- CS I/O and RS-232 serial ports
- 13-bit analog to digital conversions
- 16-bit H8S Renesas Microcontroller with 32-bit internal CPU architecture
- Temperature compensated real-time clock
- Background system calibration for accurate measurements over time and temperature changes
- Single DAC used for excitation and measurements to give ratio metric measurements
- Gas Discharge Tube (GDT) protected inputs
- Battery-backed SRAM memory and clock ensuring data, programs, and accurate time are maintained while the CR1000 is disconnected from its main power source
- Serial communications with serial sensors and devices supported via I/O port pairs
- PakBus®, Modbus, DNP3, TCP/IP, FTP, and SMTP protocols supported

Measurement and Control Module

The module measures sensors, drives direct communications and telecommunications, reduces data, controls external devices, and stores data and programs in on-board, non-volatile storage. The electronics are RF shielded and glitch protected by the sealed, stainless steel canister. A battery-backed clock assures accurate timekeeping. The module can simultaneously provide measurement and communication functions. The on-board, BASIC-like programming language supports data processing and analysis routines.

Wiring Panel

The CR1000WP is a black, anodized aluminum wiring panel that is compatible with all CR1000 modules. The wiring panel includes switchable 12 V, redistributed analog grounds (dispersed among analog channels rather than grouped), unpluggable terminal block for 12 V connections, gas-tube spark gaps, and 12 V supply on pin 8 to power our COM-series phone modems and other peripherals. The control module easily disconnects from the wiring panel allowing field replacement without rewiring the sensors. A description of the wiring panel's input/output channels follows.

**Originally, the standard CR1000 had 2 MB of data/program storage, and an optional version, the CR1000-4M, had 4 MB of memory. In September 2007, the standard CR1000 started having 4 MB of memory, making the CR1000-4M obsolete. Dataloggers that have a module with a serial number greater than or equal to 11832 will have a 4 MB memory. The 4 MB dataloggers will also have a sticker on the canister stating "4M Memory".*

Analog Inputs
Eight differential (16 single-ended) channels measure voltage levels. Resolution on the most sensitive range is 0.67 µV.

Pulse Counters
Two pulse channels can count pulses from high level (5 V square wave), switch closure, or low level AC signals.

Switched Voltage Excitations
Three outputs provide precision excitation voltages for resistive bridge measurements.

Digital I/O Ports
Eight ports are provided for frequency measurements, digital control, and triggering. Three of these ports can also be used to measure SDM devices. The I/O ports can be paired as transmit and receive. Each pair has 0 to 5 V UART hardware that allows serial communications with serial sensors and devices. An RS-232-to-logic level converter may be required in some cases.

CS I/O Port
AC-powered computers and many communication peripherals connect with the CR1000 via this port. Connection to an AC-powered computer requires either an SC32B or SC-USB interface. These interfaces isolate the computer's electrical system from the datalogger, thereby protecting against ground loops, normal static discharge, and noise.

RS-232 Port
This non-isolated port is for connecting a battery-powered laptop, serial sensor, or RS-232 modem. Because of ground loop potential on some measurements such as low level single-ended measurements, AC-powered computers should use the CS I/O port instead of the RS-232 port (see above).

Peripheral Port
One 40-pin port interfaces with the NL116 Ethernet Interface and CompactFlash Module, the NL121 Ethernet Interface, or the CFM100 CompactFlash® Module.

Switched 12 Volt
This terminal provides unregulated 12 V that can be switched on and off under program control.

Storage Capacity
The CR1000 has 2 MB of flash memory for the Operating System, and 4 MB of battery-backed SRAM for CPU usage, program storage, and data storage. Data is stored in a table format. The storage capacity of the CR1000 can be increased by using a CompactFlash card.

Enclosure/Stack Bracket
A CR1000 housed in a weather-resistant enclosure can collect data under extremely harsh conditions. The 31551 and 31143 stack brackets allow a peripheral to be placed under the mounting bracket, thus conserving space. The 31143 is hinged, allowing easy access to the lower component during wiring or during maintenance.

Communication Protocols
The CR1000 supports the PakBus, Modbus, DNP3, TCP/IP, FTP, and SMTP communication protocols. With the PakBus protocol, networks have the distributed routing intelligence to continually evaluate links. Continually evaluating links optimizes delivery times and, in the case of delivery failure, allows automatic switch over to a configured backup route.

The Modbus RTU protocol supports both floating point and long formats. The datalogger can act as a slave and/or master.

The DNP3 protocol supports only long data formats. The dataloggers are level 2 slave compliant, with some of the operations found in a level 3 implementation.

The TCP/IP, FTP, and SMTP protocols provide TCP/IP functionality when the CR1000 is used in conjunction with an NL241, NL201, NL116, or NL121. Refer to the CR1000 manual for more information.

Power Supplies
Typically, the CR1000 is powered with a PS200, PS150, or BPALK. The PS200 and PS150 provide a 7 Ah sealed rechargeable battery that should be connected to a charging source (either a power converter or solar panel). The BPALK consists of eight non-rechargeable D-cell alkaline batteries with a 7.5 Ah rating at 20°C.

Also available are the BP7, BP12, and BP24 battery, which provide nominal ratings of 7, 12, and 24 Ah, respectively. The BP7 is typically used instead of the PS150 or PS200 when the battery needs to be mounted under the 31143 Hinged Stack Bracket. The BP12 and BP24 batteries are for powering systems that have higher current drain equipment such as satellite transmitters. The BP7, BP12, and BP24 should be connected to a regulated charging source (e.g., a CH200 or CH150 connected to a unregulated solar panel or power converter).

The PS200 (above) and CH200 can monitor charge input voltage, battery voltage, on-board temperature, battery current, and load current.

Communication Options

To determine the best option for an application, consider the accessibility of the site, availability of services (e.g., cellular phone or satellite coverage), quantity of data to collect, and desired time between data-collection sessions. Some communication options can be combined—increasing the flexibility, convenience, and reliability of the communications.

Keyboard Display

The CR1000KD can be used to program the CR1000, manually initiate data transfer, and display data. The CR1000KD displays 8 lines by 21 characters (64 by 128 pixels) and has a 16-character keyboard. Custom menus are supported allowing customers to set up choices within the datalogger program that can be initiated by a simple toggle or pick list. One CR1000KD can be carried station to station in a CR1000 network.

Mountable Displays

The CD100 and CD295 can be mounted in an enclosure lid. The CD100 has the same functionality and operation as the CD1000KD, allowing both data entry and display without opening the enclosure. The CD295 displays real-time data only.

The CD100 has a vacuum flourescent display for responsive use through a very wide operating temperature range.

iOS Devices and Android Devices

An iOS device or Android device can communicate with the datalogger or connect to the LoggerNet network using Apps available, at no charge, from the Apple Store or Google Play.

Direct Links

AC-powered computers connect with the datalogger's CS I/O port using an SC32B or SC-USB interface. These interfaces provide optical isolation. A battery-powered laptop can be attached to the CR1000's RS-232 port via an RS-232 cable—no interface required.

External Data Storage Devices

A CFM100 or NL116 module can store the CR1000's data on an industrial-grade CompactFlash (CF) card. The CR1000 can also store data on an SC115 2 GB Flash Memory Drive.

Short Haul Modems

The SRM-5A RAD Short Haul Modem supports communications between the CR1000 and a computer using a four-wire unconditioned line (two twisted pairs).

Multidrop Interface

The MD485 intelligent RS-485 interface permits a computer to address and communicate with one or more dataloggers over the CABLE2TP two-twisted pair cable. Distances up to 4000 feet are supported.

Internet and IP Networks

Campbell Scientific offers several interfaces that enable the CR1000 to communicate with a computer using TCP/IP.

Radios

Radio frequency (RF) communications are supported using narrowband UHF, narrowband VHF, spread spectrum, or meteor burst radios. Line-of-sight is required for all of our RF options.

Satellite Transmitters

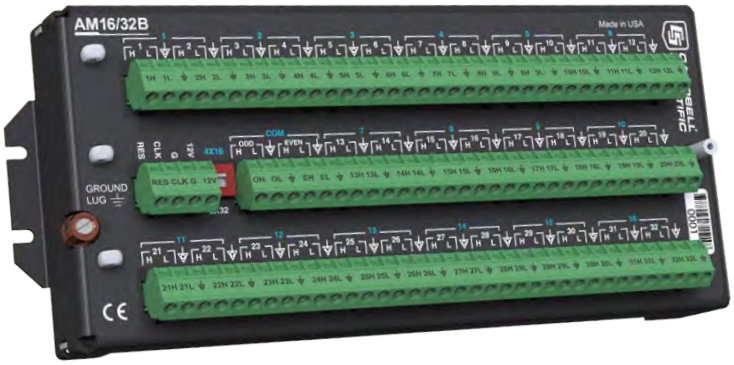
The CR1000 can transmit data using the Argos, Iridium, Inmarsat BGAN, GOES, or Meteosat satellite systems. Satellite telemetry offers an alternative for remote locations where phone lines or RF systems are impractical.

Telephone Networks

The CR1000 can communicate with a computer using landlines or cellular transceivers. A voice synthesized modem enables anyone to call the CR1000 via phone and receive a verbal report of real-time site conditions.

In Virginia, our RF500M Narrowband Radio Modem provides time- and event-driven ALERT data transmission.

Channel Expansion



The CR1000 is compatible with the AM16/32B (shown above) and AM25T multiplexers.

4-Channel Low Level AC Module

The LLAC4 is a small peripheral device that allows customers to increase the number of available low-level ac inputs by using control ports. This module is often used to measure up to four anemometers, and is especially useful for wind profiling applications.

Synchronous Devices for Measurement (SDMs)

SDMs are addressable peripherals that expand the datalogger's measurement and control capabilities. For example, SDMs are available to add control ports, analog outputs, pulse count channels, interval timers, or even a CANbus interface to the system. Multiple SDMs, in any combination, can be connected to one datalogger.

Multiplexers

Multiplexers increase the number of sensors that can be measured by a CR1000 by sequentially connecting each sensor to the datalogger. Several multiplexers can be controlled by a single CR1000.

Software

Starter Software

Our easy-to-use starter software is intended for first time users or applications that don't require sophisticated communications or datalogger program editing. SCWin Short Cut generates straight-forward datalogger programs in four easy steps. PC200W allows customers to transfer a program to, or retrieve data from a CR1000 via a direct communications link. At www.campbellsci.com/downloads, the starter software can be downloaded at no charge. .

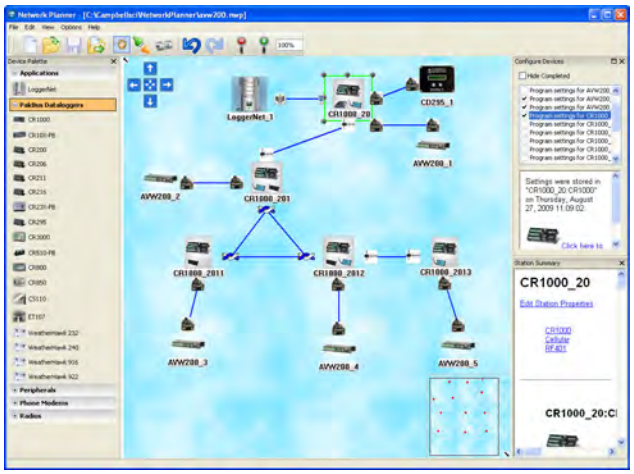
Datalogger Support Software

Our datalogger support software packages provide more capabilities than our starter software. These software packages contains program editing, communications, and display tools that can support an entire datalogger network.

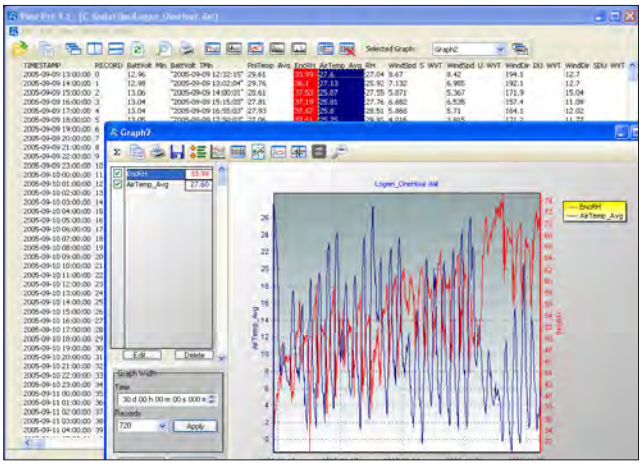
PC400, our mid-level software, supports a variety of telemetry options, manual data collection, and data display. For programming, it includes both Short Cut and the CRBasic program editor. PC400 does not support combined communication options (e.g., phone-to-RF), PakBus® routing, and scheduled data collection.

RTDAQ is an ideal solution for industrial and real-time users desiring to use reliable data collection software over a single telecommunications medium, and who do not rely on scheduled data collection. RTDAQ's strength lies in its ability to handle the display of high speed data.

LoggerNet is Campbell Scientific's full-featured datalogger support software. It is referred to as "full-featured" because it provides a way to accomplish almost all the tasks you'll need to complete when using a datalogger. LoggerNet supports combined communication options (e.g., phone-to-RF) and scheduled data collection.



The Network Planner generates device settings and configures the LoggerNet network map for PakBus networks.



Both LoggerNet and RTDAQ use View Pro to display historical data in a tabular or graphical format.

Applications

The measurement precision, flexibility, long-term reliability, and economical price of the CR1000 make it ideal for scientific, commercial, and industrial applications.

Meteorology

The CR1000 is used in long-term climatological monitoring, meteorological research, and routine weather measurement applications.

Our rugged, reliable weather station measures meteorological conditions at St. Mary's Lake, Glacier National Park, MT.

Sensors the CR1000 can measure include:

- cup, propeller, and sonic anemometers
- tipping bucket rain gages
- wind vanes
- pyranometers
- ultrasonic ranging sensor
- thermistors, RTDs, and thermocouples
- barometers
- RH probes
- Cooled mirror hygrometers

Agriculture and Agricultural Research

The versatility of the CR1000 allows measurement of agricultural processes and equipment in applications such as:

- plant water research
- canopy energy balance
- plant pathology
- machinery performance
- frost prediction
- crop management decisions
- food processing/storage
- integrated pest management
- irrigation scheduling

This vitaculture site in Australia integrates meteorological, soil, and crop measurements.

Wind Profiling

Our data acquisition systems can monitor conditions at wind assessment sites, at producing wind farms, and along transmission lines. The CR1000 makes and records measurements, controls electrical devices, and can function as PLCs or RTUs. Because the datalogger has its own power supply (batteries, solar panels), it can continue to measure and store data and perform control during power outages. Typical sensors for wind assessment applications include, but are not limited to:

- cup, propeller, and sonic anemometers (up to 10 anemometers can be measured by using two LLAC4 peripherals)
- wind vanes
- thermistors, RTDs, and thermocouples
- barometers
- pyranometers

For turbine performance applications, the CR1000 monitors electrical current, voltage, wattage, stress, and torque.

Photo courtesy npower renewables

A Campbell Scientific system monitors an offshore wind farm in North Wales.

Soil Moisture

The CR1000 are compatible with the following soil moisture measurement technologies:

- **Soil moisture blocks** are inexpensive sensors that estimate soil water potential.
- **Matric water potential sensors** also estimate soil water potential but are more durable than soil moisture blocks.
- **Time-Domain Reflectometry Systems (TDR)** use a reflectometer controlled by the datalogger to accurately measure soil water content. Multiplexers allow sequential measurement of a large number of probes by one reflectometer.
- **Self-contained water content reflectometers** are sensors that emit and measure a TDR pulse.
- **Tensiometers** measure the soil pore pressure of irrigated soils and calculate soil moisture.

Air Quality

The CR1000 can monitor and control gas analyzers, particle samplers, and visibility sensors. The datalogger can also automatically control calibration sequences and compute conditional averages that exclude invalid data (e.g., data recorded during power failures or calibration intervals).

Road Weather/RWIS

Our fully NTCIP-compliant Environmental Sensor Stations (ESS) are robust, reliable weather stations used for road weather/RWIS applications. A typical ESS includes a tower, CR1000, two road sensors, remote communication hardware, and sensors that measure wind speed and direction, air temperature, humidity, barometric pressure, solar radiation, and precipitation.

Water Resources/Aquaculture

Our CR1000 is well-suited to remote, unattended monitoring of hydrologic conditions. Most hydrologic sensors, including SDI-12 probes, interface directly to the CR1000.

Typical hydrologic measurements:

- **Water level** is monitored with incremental shaft encoders, double bubblers, ultrasonic ranging sensors, resistance tapes, strain gage pressure transducers, or vibrating wire pressure transducers. Vibrating wire transducers require an CDM-VW300-series, AVW200-series or another vibrating wire interface.
- **Well draw-down tests** use a pressure transducer measured at logarithmic intervals or at a rate based on incremental changes in water level.
- **Ionic conductivity measurements** use one of the switched excitation ports from the datalogger.
- **Samplers** are controlled by the CR1000 as a function of time, water quality, or water level.
- **Alarm and pump actuation** are controlled through digital I/O ports that operate external relay drivers

A turbidity sensor was installed in a tributary of the Cedar River watershed to monitor water quality conditions for Seattle, Washington.

Vehicle Testing

This versatile, rugged datalogger is ideally suited for testing cold and hot temperature, high altitude, off-highway, and cross-country performance. The CR1000 is compatible with our SDM-CAN interface and GPS16X-HVS receiver.

Vehicle monitoring includes not only passenger cars, but airplanes, locomotives, helicopters, tractors, buses, heavy trucks, drilling rigs, race cars, and motorcycles.

The CR1000 can measure:

- **Suspension**—strut pressure, spring force, travel, mounting point stress, deflection, ride.
- **Fuel system**—line and tank pressure, flow, temperature, injection timing.
- **Comfort control**—ambient and supply air temperature, solar radiation, fan speed, ac on and off, refrigerant pressures, time-to-comfort, blower current.
- **Brakes**—line pressure, pedal pressure and travel, ABS, line and pad temperature.
- **Engine**—pressure, temperature, crank position, RPM, time-to-start, oil pump cavitation.
- **General vehicle**—chassis monitoring, road noise, vehicle position and speed, steering, air bag, hot/cold soaks, wind tunnels, traction, CANbus, wiper speed and current, vehicle electrical loads.

Other Applications

- Eddy covariance systems
- Wireless sensor/datalogger networks
- Fire weather
- Geotechnical
- Mesonet systems
- Avalanche forecasting, snow science, polar, high altitude
- Historic preservation

CR1000 Specifications

Electrical specifications are valid over a -25° to +50°C, non-condensing environment, unless otherwise specified. Recalibration recommended every three years. Critical specifications and system configuration should be confirmed with Campbell Scientific before purchase.

PROGRAM EXECUTION RATE

10 ms to one day @ 10 ms increments

ANALOG INPUTS (SE1-SE16 or DIFF1-DIFF8)

8 differential (DF) or 16 single-ended (SE) individually configuredinput channels. Channel expansion provided by optional analog multiplexers.

RANGES and RESOLUTION: Basic resolution (Basic Res) is the A/D resolution of a single A/D conversion. A DF measurement with input reversal has better (finer) resolution than Basic Res.

Range (mV)[1]	DF Res (µV)[2]	Basic Res (µV)
±5000	667	1333
±2500	333	667
±250	33.3	66.7
±25	3.33	6.7
±7.5	1.0	2.0
±2.5	0.33	0.67

[1]Range overhead of ~9% on all ranges guarantees that full-scale values will not cause over range.

[2]Resolution of DF measurements with input reversal.

ACCURACY[3]:
±(0.06% of reading + offset), 0° to 40°C
±(0.12% of reading + offset), -25° to 50°C
±(0.18% of reading + offset), -55° to 85°C (-XT option only)

[3]Accuracy does not include the sensor and measurement noise. Offsets are defined as:
Offset for DF w/input reversal = 1.5•Basic Res + 1.0 µV
Offset for DF w/o input reversal = 3•Basic Res + 2.0 µV
Offset for SE = 3·Basic Res + 3.0 µV

ANALOG MEASUREMENT SPEED:

Integration Type/Code	Integration Time	Settling Time	Total Time[4] SE w/ No Rev	Total Time[4] DF w/ Input Rev
250	250 µs	3 ms	~1 ms	~12 ms
60 Hz[5]	16.67 ms	3 ms	~20 ms	~40 ms
50 Hz[5]	20.00 ms	3 ms	~25 ms	~50 ms

[4]Includes 250 µs for conversion to engineering units.

[5]AC line noise filter.

INPUT NOISE VOLTAGE: For DF measurements with input reversal on ±2.5 mV input range (digital resolution dominates for higher ranges).
250 µs Integration: 0.34 µV RMS
50/60 Hz Integration: 0.19 µV RMS

INPUT LIMITS: ±5 Vdc

DC COMMON MODE REJECTION: >100 dB

NORMAL MODE REJECTION: 70 dB @ 60 Hz when using 60 Hz rejection

INPUT VOLTAGE RANGE W/O MEASUREMENT CORRUPTION: ±8.6 Vdc max.

SUSTAINED INPUT VOLTAGE W/O DAMAGE: ±16 Vdc max.

INPUT CURRENT: ±1 nA typical, ±6 nA max. @ 50°C; ±90 nA @ 85°C

INPUT RESISTANCE: 20 GΩ typical

ACCURACY OF BUILT-IN REFERENCE JUNCTION THERMISTOR (for thermocouple measurements):
±0.3°C, -25° to 50°C
±0.8°C, -55° to 85°C (-XT option only)

ANALOG OUTPUTS (VX1-VX3)

3 switched voltage, sequentially active only during measurement.

RANGE AND RESOLUTION:

Channel	Range	Resolution	Current Source/Sink
(VX 1–3)	±2.5 Vdc	0.67 mV	±25 mA

ANALOG OUTPUT ACCURACY (VX):
±(0.06% of setting + 0.8 mV), 0° to 40°C
±(0.12% of setting + 0.8 mV), -25° to 50°C
±(0.18% of setting + 0.8 mV), -55° to 85°C (-XT only)

VX FREQUENCY SWEEP FUNCTION: Switched outputs provide a programmable swept frequency, 0 to 2500 mv square waves for exciting vibrating wire transducers.

PERIOD AVERAGE

Any of the 16 SE analog inputs can be used for period averaging. Accuracy is ±(0.01% of reading + resolution), where resolution is 136 ns divided by the specified number of cycles to be measured.

INPUT AMPLITUDE AND FREQUENCY:

Voltage Gain	Input Range (±mV)	Signal (peak to peak) Min. (mV)[6]	Signal (peak to peak) Max (V)[7]	Min Pulse Width (µV)	Max[8] Freq (kHz)
1	250	500	10	2.5	200
10	25	10	2	10	50
33	7.5	5	2	62	8
100	2.5	2	2	100	5

[6]Signal centered around Threshold (see PeriodAvg() instruction).

[7]With signal centered at the datalogger ground.

[8]The maximum frequency = 1/(twice minimum pulse width) for 50% of duty cycle signals.

RATIOMETRIC MEASUREMENTS

MEASUREMENT TYPES: Provides ratiometric resistance measurements using voltage excitation. 3 switched voltage excitation outputs are available for measurement of 4- and 6-wire full bridges, and 2-, 3-, and 4-wire half bridges. Optional excitation polarity reversal minimizes dc errors.

RATIOMETRIC MEASUREMENT ACCURACY:[9,10, 11]
±(0.04% of Voltage Measurement + Offset)

[9]Accuracy specification assumes excitation reversal for excitation voltages < 1000 mV. Assumption does not include bridge resistor errors and sensor and measurement noise.

[10]Estimated accuracy, ΔX (where X is value returned from the measurement with Multiplier = 1, Offset = 0):
BrHalf() instruction: $\Delta X = \Delta V_1/V_x$
BrFull() instruction $\Delta X = 1000 \cdot \Delta V_1/V_x$, expressed as mV•V^{-1}.
ΔV^{-1} is calculated from the ratiometric measurement accuracy. See Resistance Measurements Section in the manual for more information.

[11]Offsets are defined as:
Offset for DIFF w/input reversal = 1.5•Basic Res + 1.0 µV
Offset for DIFF w/o input reversal = 3•Basic Res + 2.0 µV
Offset for SE = 3•Basic Res + 3.0 µV
Excitation reversal reduces offsets by a factor of two.

PULSE COUNTERS (P1-P2)

2 inputs individually selectable for switch closure, high frequency pulse, or low-level ac. Independent 24-bit counters for each input.

MAXIMUM COUNTS PER SCAN: 16.7x10^6

SWITCH CLOSURE MODE:
Minimum Switch Closed Time: 5 ms
Minimum Switch Open Time: 6 ms
Max. Bounce Time: 1 ms open w/o being counted

HIGH-FREQUENCY PULSE MODE:
Maximum Input Frequency: 250 kHz
Maximum Input Voltage: ±20 V
Voltage Thresholds: Count upon transition from below 0.9 V to above 2.2 V after input filter with 1.2 µs time constant.

LOW-LEVEL AC MODE: Internal ac coupling removes ac offsets up to ±0.5 Vdc.
Input Hysteresis: 12 mV RMS @ 1 Hz
Maximum ac Input Voltage: ±20 V
Minimum ac Input Voltage:

Sine Wave (mV RMS)	Range(Hz)
20	1.0 to 20
200	0.5 to 200
2000	0.3 to 10,000
5000	0.3 to 20,000

DIGITAL I/O PORTS (C1-C8)

8 ports software selectable, as binary inputs or control outputs. Provide on/off, pulse width modulation, edge timing, subroutine interrupts / wake up, switch closure pulse counting, high frequency pulse counting, asynchronous communications (UARTs), and SDI-12 communications. SDM communications are also supported.

LOW FREQUENCY MODE MAX: <1 kHz

HIGH-FREQUENCY MODE MAX: 400 kHz

SWITCH-CLOSURE FREQUENCY MAX: 150 Hz

EDGE TIMING RESOLUTION: 540 ns

OUTPUT VOLTAGES (no load): high 5.0 V ±0.1 V; low <0.1

OUTPUT RESISTANCE: 330 Ω

INPUT STATE: high 3.8 to 16 V; low -8.0 to 1.2 V

INPUT HYSTERESIS: 1.4 V

INPUT RESISTANCE: 100 kΩ with inputs <6.2 Vdc
0.220 kΩ with inputs ≥6.2 Vdc

SERIAL DEVICE/RS-232 SUPPORT: 0 TO 5 Vdc UART

SWITCHED 12 VDC (SW-12)

1 independent 12 Vdc unregulated source is switched on and off under program control. Thermal fuse hold current = 900 mA at 20°C, 650 mA at 50°C, 360 mA at 85°C.

COMPLIANCE INFORMATION

VIEW EU DECLARATION OF CONFORMITY AT:
www.campbellsci.com/cr1000
www.campbellsci.com/cr1000kd

COMMUNICATIONS

RS-232 PORTS:
DCE 9-pin: (not electrically isolated) for computer connection or connection of modems not manufactured by Campbell Scientific.
COM1 to COM4: 4 independent Tx/Rx pairs on control ports (non-isolated); 0 to 5 Vdc UART
Baud Rates: selectable from 300 bps to 115.2 kbps.
Default Format: 8 data bits; 1 stop bits; no parity
Optional Formats: 7 data bits; 2 stop bits; odd, even parity

CS I/O PORT: Interface with telecommunications peripherals manufactured by Campbell Scientific.

SDI-12: Digital control ports C1, C3, C5, and C7 are individually configured and meet SDI-12 Standard v 1.3 for datalogger mode. Up to 10 SDI-12 sensors are supported per port.

PERIPHERAL PORT: 40-pin interface for attaching CompactFlash or Ethernet peripherals

PROTOCOLS SUPPORTED: PakBus, AES-128 Encrypted PakBus, Modbus, DNP3, FTP, HTTP, HTML, POP3, PPP, SMTP, Telnet, NTCIP, NTP, SDI-12, SDM, TLS.

SYSTEM

PROCESSOR: Renesas H8S 2322 (16-bit CPU with 32-bit internal core running at 7.3 MHz)

MEMORY: 2 MB of flash for operating system; 4 MB of battery-backed SRAM for CPU usage and final data storage; 512 kB flash disk (CPU) for program files.

REAL-TIME CLOCK ACCURACY: ±3 min. per year. Correction via GPS optional.

REAL-TIME CLOCK RESOLUTION: 10 ms

SYSTEM POWER REQUIREMENTS

VOLTAGE: 9.6 to 16 Vdc

INTERNAL BATTERIES: 1200 mAh lithium battery for clock and SRAM backup that typically provides three years of backup

EXTERNAL BATTERIES: Optional 12 Vdc nominal alkaline and rechargeable available. Power connection is reverse polarity protected.

TYPICAL CURRENT DRAIN at 12 Vdc:
Sleep Mode: < 1 mA
1 Hz Sample Rate (1 fast SE measurement): 1 mA
100 Hz Sample Rate (1 fast SE measurement): 16 mA
100 Hz Sample Rate (1 fast SE measurement w/RS-232 communication): 28 mA
Active external keyboard display adds 7 mA (100 mA with backlight on).

PHYSICAL

DIMENSIONS: 23.9 x 10.2 x 6.1 cm (9.4 x 4 x 2.4 in); additional clearance required for cables and leads.

MASS/WEIGHT: 1 kg / 2.1 lb

WARRANTY

3 years against defects in materials and workmanship.

© 2004, 2017
Campbell Scientific, Inc.
December 18, 2017

CAMPBELL SCIENTIFIC
WHEN MEASUREMENTS MATTER

SR50AT-L

Sonic Distance Sensor with Temperature Sensor

Temperature-Compensated Output

Overview

The SR50AT-L is an acoustic distance sensor that measures the elapsed time between emission and return of an ultrasonic pulse. This measurement can be used to determine snow depth. The SR50AT-L includes an external temperature sensor and outputs a temperature-corrected distance reading, eliminating the need for further post-processing.

Note: Campbell Scientific recommends model SR50AT-316SS-L for marine environments.

Benefits and Features

- Integrated temperature probe for providing temperature correction of measurements
- Non-contact method for determining snow depth
- Wide operating temperature range
- Rugged enough for harsh environments
- User-selectable options for output
- Uses a multiple echo processing algorithm to help ensure measurement reliability
- Compatible with most Campbell Scientific data loggers

Detailed Description

The SR50AT is an identical unit to the SR50A with the addition of an external temperature sensor. The temperature sensor requires a six-plate radiation shield. The SR50AT will output a temperature-corrected distance reading, eliminating the need for further post-processing, as well as a separate temperature reading.

The SR50AT was designed to meet the stringent requirements of measuring snow depths and uses a multiple echo processing algorithm to help ensure measurement reliability. The SR50AT is compatible with all current Campbell Scientific data loggers, as well as many other data acquisition systems. An air temperature measurement is required to correct for variations of the speed of sound in air. Either the SR50AT or an existing on-site air temperature sensor can be used. The SR50AT is available with a heater option for locations where rime ice is a problem.

Specifications

Measurement Time	< 1.0 s
Output Options	SDI-12 version 1.3, RS-232, RS-485 (output options selected by configuring internal jumpers)
Baud Rates	1200 to 38400 bps (RS-232, RS-485 modes)
Power Requirements	9 to 18 Vdc (typically powered by data logger's 12 Vdc power supply)
Measurement Range	0.5 to 10 m (1.6 to 32.8 ft)
Beam Acceptance Angle	~30°
Resolution	0.25 mm (0.01 in.)
Accuracy	±1 cm (0.4 in.) or 0.4% of distance to target (whichever is greatest).
Operating Temperature Range	-45° to +50°C
Compliance	CE compliant
Temperature Accuracy	⟫ ±0.2° (at 0° to 50°C) ⟫ ±0.75° (at -45° to 0°C)
Cable Type	4 conductor, 2-twisted pair, 22 AWG, Santoprene
Diameter	7.6 cm (3 in.)
Length	10.1 cm (4 in.)
Weight	375 g (13.2 oz) without cable
Cable Weight	250 g (8.2 oz) for a 4.57-m (15-ft) cable

Power Consumption

Active	250 mA (typical)
Quiescent SDI-12 Mode	< 1.0 mA The quiescent current draw is less than 1.25 mA if the BAUD rate is 9600 BAUD or less
RS-232/RS-485 Mode	< 2.0 mA

Maximum Cable Length

-NOTE-	*Cable lengths greater than 60 m require a heavier gage wire if the power supply drops below 11 Vdc.*
SDI-12	60 m (200 ft)
RS-232	60 m (200 ft) 9600 BAUD or less
RS-485	300 m (984 ft)

For comprehensive details, visit: www.campbellsci.com/sr50at-l

© 2020 Campbell Scientific, Inc. | 12/23/2020

CAMPBELL SCIENTIFIC
WHEN MEASUREMENTS MATTER

TE525WS-L

Rain Gage with 8 in. Orifice

Conforms to National Weather Service Recommendation

Overview

The TE525WS, manufactured by Texas Electronics, is a tipping bucket rain gage that conforms to the National Weather Service recommendation for an 8 in. funnel orifice. It measures rainfall in 0.01 in. increments. This tipping bucket is compatible with all Campbell Scientific data loggers, and it is widely used in environmental monitoring applications.

Benefits and Features

- Compatible with most Campbell Scientific data loggers
- Accuracy is ±1 percent at rates up to 1 in./hr
- High precision—tips at 0.01-in. increments
- Directly compatible with the CS705 Snowfall Adapter allowing the TE525WS to measure the measure the water content of snow
- Conforms to the National Weather Service recommendation for an 8-inch funnel orifice
- Compatible with the CWS900-series interfaces, allowing it to be used in a wireless sensor network

Detailed Description

The TE525WS funnels precipitation into a bucket mechanism that tips when filled to its calibrated level. A magnet attached to the tipping mechanism actuates a switch as the bucket tips. The momentary switch closure is counted by the pulse-counting circuitry of our data loggers.

Specifications

Sensor Type	Tipping bucket with magnetic reed switch
Material	Anodized aluminum
Operating Temperature Range	0° to 50°C
Resolution	1 tip
Volume per Tip	8.24 ml/tip (0.28 fl. oz/tip)

For comprehensive details, visit: www.campbellsci.com/te525ws-l

On-Site Field Check List

Station Name:	Supressor Roof - Main			
Customer:	Guy Harvey		**Contact:**	
Contact Information:	**Phone:**	4182872000 #2117	**Cell:**	4185717049
	Email:	gharvey@mineraiferquebec.com		

CSC Technician(s):	Sam Stippler				
	Date(s) On Site			**Type of Work**	
	12/02/2021	To	12/02/2021	Maintenance	
Current Weather Conditions:	-20 Snow and Wind				
Station Type: (e.g. Solar, Met, RWIS, Precip)	Meteorological			**CSC QDP System:**	☐Yes ✓ No
Site Location: (e.g. City, Province, Hwy, Mine site name)	MFQ – Fermont, QC				
Site GPS Co-ordinates	**Lat: 52.856222**		**Long: -67.273943**		

Station On-Site Checklist	
✓Yes ☐ No ☐NA	Complete FLHA form prior to starting any work on-site
✓Yes ☐ No ☐NA	Pre-maintenance site pictures taken as required (e.g. document site condition)
✓Yes ☐ No ☐NA	Establish direct connection to datalogger, and collect/save pre-maintenance data
✓Yes ☐ No ☐NA	Save station program and datalogger/device settings (as required)
✓Yes ☐ No ☐NA	Complete visual inspection of sensor hardware, mounts and cable condition
✓Yes ☐ No ☐NA	Complete on-site calibration/maintenance of station equipment (where applicable)
✓Yes ☐ No ☐NA	Remove existing equipment for factory calibration/maintenance
✓Yes ☐ No ☐NA	Re-level sensors/mounts as required
✓Yes ☐ No ☐NA	Cleaned sensors/hardware as required
✓Yes ☐ No ☐NA	Sensor cables zip tied with dew loops, and coiled/secured neatly
✓Yes ☐ No ☐NA	Confirm battery functionality with load test
✓Yes ☐ No ☐NA	Confirm station properly grounded
✓Yes ☐ No ☐NA	Replace enclosure desiccant with new packs (if required)
✓Yes ☐ No ☐NA	Replace enclosure humidity indicator card (if required)
✓Yes ☐ No ☐NA	Replace enclosure port putty as required and ensure port properly sealed
✓Yes ☐ No ☐NA	Upload revised station program and/or datalogger/device settings (if applicable)
✓Yes ☐ No ☐NA	Collect and save post install/maintenance data (includes Status and Public tables)
✓Yes ☐ No ☐NA	Review post collected data and confirm valid sensor outputs (No NAN, INF, etc..)
✓Yes ☐ No ☐NA	Review Status table for skipped scans, watchdog errors, lithium batt voltage, etc..
✓Yes ☐ No ☐NA	Confirm direct and remote connection to datalogger (if applicable)
☐Yes ✓ No ☐NA	Confirm station updated wiring diagram secured inside station enclosure
✓Yes ☐ No ☐NA	Post maintenance site pictures taken
✓Yes ☐ No ☐NA	Site cleaned of all garbage/debris, and any hazardous material properly disposed

On-Site Field Check List

If checked No for any items, why:

Station Inventory List:

Model	Serial #	Type of Maintenance Completed*	Part(s) Replaced (If none, enter NA)	Values Verified with Reference Device
CMP3	127305	Functional Check Only		**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
05103-10	131200	Replaced Parts Only	Wind speed bearings	**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
HC2-S3	20386738	Equipment Exchanged - Removed Unit		**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
HC2-S3	20386751	Equipment Exchanged - Installed Unit		**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
CS106	H2260028	Equipment Exchanged - Removed Unit		**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
CS106	T2941273	Equipment Exchanged - Installed Unit		**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
Lambrecht Rain (E)	870938.0004	Equipment Exchanged - Removed Unit		**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
Lambrecht Rain (E)	631387.0002	Equipment Exchanged - Installed Unit		**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐

*** Type of maintenance completed** (for hard copies please refer to and write in one of the following options below):

1. **Equipment Exchange – Removed Unit -** For existing sensors you've swapped out and require maint/cal
2. **Equipment Exchange – Installed Unit -** Replacement sensor installed**,** either a refurbished calibrated sensor/logger from CSC exchange inventory, or a client owned new replacement or used/calibrated spare
3. **Replaced Parts and Calibrated** – For equipment where parts can be replaced while on-site and can be calibrate with field calibration kit. Ex. 05103-10 wind monitor
4. **Replaced Parts Only** – For equipment where on-site calibration may not be required or may not be possible but includes parts that can be replaced while on-site. Ex. SR50A snow depth sensor
5. **Calibrated only** – For equipment where parts typically do not require replacement but can be calibrated while on site with a field calibration kit. Ex. TE525M tipping bucket rain gauge
6. **Functional Check Only** – For equipment that does not require maintenance, or where parts typically do not need to or cannot easily be replaced and cannot be calibrated while on-site. This equipment requires factory calibration Ex. CS106 BP sensor, CR1000 datalogger.
   Or if installing/commissioning/troubleshooting new or used equipment which does not require maintenance for the purpose of the trip.
7. **Not Applicable** – A serialized part that we want to record as inventory but does not have an operational function.

On-Site Field Check List

Site Specific Notes: (ex. ladder to access sensors, need keys to access site, special required safety equipment, etc…)
Station is located on roof. Access ladder is available to reach the roof. General mine orientation in Cognibox required to access site. Fall arrest needed to un-screw guy wire.

Datalogger/Power/Communications Notes:
CR1000 connected to network with ethernet. Site is powered by AC. Battery test reading low Amperage.

Sensor/Cable Notes: (Note here general condition of cables – Excellent, Good, Fair or Poor) Comment on any specific cables that are cracking, cut and or have been repaired Make notes if any cracks or damage to sensors/sensor housings, and fixes, if does not affect functionality
All cables and sensors are in excellent condition.

Tower/Tripod/Mount Notes: (ex. On tower – is winch rusted/in poor condition, is base loose, bolts rusted, etc.)
Tower and mounting equipment are in excellent condition.

Other Notes or Work Completed To Be Documented:

On-Site Field Check List

Next Recommended Site Visit:

Follow Up Action Items For Next Visit:
Replace battery. Replace CMP3 for a calibrated unit. Provide wiring diagram for the enclosure.

On-Site Field Check List

Station Name:	WSP			
Customer:	Guy Harvey		**Contact:**	
Contact Information:	**Phone:**	4182872000 #2117	**Cell:**	4185717049
	Email:	gharvey@mineraiferquebec.com		

CSC Technician(s):	Sam Stippler				
	Date(s) On Site			**Type of Work**	
	12/02/2021	To	12/03/2021	Maintenance	
Current Weather Conditions:	Snowing -15 degrees				
Station Type: (e.g. Solar, Met, RWIS, Precip)	Meteorological			**CSC QDP System:**	☐Yes ✓ No
Site Location: (e.g. City, Province, Hwy, Mine site name)	MFQ – Fermont, QC				
Site GPS Co-ordinates	**Lat: 52.797633**		**Long: -67.254143**		

Station On-Site Checklist	
✓Yes ☐ No ☐NA	Complete FLHA form prior to starting any work on-site
✓Yes ☐ No ☐NA	Pre-maintenance site pictures taken as required (e.g. document site condition)
✓Yes ☐ No ☐NA	Establish direct connection to datalogger, and collect/save pre-maintenance data
✓Yes ☐ No ☐NA	Save station program and datalogger/device settings (as required)
✓Yes ☐ No ☐NA	Complete visual inspection of sensor hardware, mounts and cable condition
✓Yes ☐ No ☐NA	Complete on-site calibration/maintenance of station equipment (where applicable)
✓Yes ☐ No ☐NA	Remove existing equipment for factory calibration/maintenance
✓Yes ☐ No ☐NA	Re-level sensors/mounts as required
✓Yes ☐ No ☐NA	Cleaned sensors/hardware as required
✓Yes ☐ No ☐NA	Sensor cables zip tied with dew loops, and coiled/secured neatly
☐Yes ☐ No ✓NA	Confirm battery functionality with load test
✓Yes ☐ No ☐NA	Confirm station properly grounded
✓Yes ☐ No ☐NA	Replace enclosure desiccant with new packs (if required)
✓Yes ☐ No ☐NA	Replace enclosure humidity indicator card (if required)
✓Yes ☐ No ☐NA	Replace enclosure port putty as required and ensure port properly sealed
☐Yes ☐ No ✓NA	Upload revised station program and/or datalogger/device settings (if applicable)
✓Yes ☐ No ☐NA	Collect and save post install/maintenance data (includes Status and Public tables)
✓Yes ☐ No ☐NA	Review post collected data and confirm valid sensor outputs (No NAN, INF, etc..)
✓Yes ☐ No ☐NA	Review Status table for skipped scans, watchdog errors, lithium batt voltage, etc..
✓Yes ☐ No ☐NA	Confirm direct and remote connection to datalogger (if applicable)
☐Yes ✓ No ☐NA	Confirm station updated wiring diagram secured inside station enclosure
✓Yes ☐ No ☐NA	Post maintenance site pictures taken
✓Yes ☐ No ☐NA	Site cleaned of all garbage/debris, and any hazardous material properly disposed

On-Site Field Check List

If checked No for any items, why:				
Station Inventory List:				
Model	**Serial #**	**Type of Maintenance Completed***	**Part(s) Replaced** (If none, enter NA)	**Values Verified with Reference Device**
05103-10	154871	Replaced Parts Only	Wind speed assembly	**Y** ☐ **N** ✓ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐
				Y ☐ **N** ☐ **NA** ☐

*** Type of maintenance completed** (for hard copies please refer to and write in one of the following options below):

1. **Equipment Exchange – Removed Unit -** For existing sensors you've swapped out and require maint/cal
2. **Equipment Exchange – Installed Unit -** Replacement sensor installed**,** either a refurbished calibrated sensor/logger from CSC exchange inventory, or a client owned new replacement or used/calibrated spare
3. **Replaced Parts and Calibrated** – For equipment where parts can be replaced while on-site and can be calibrate with field calibration kit. Ex. 05103-10 wind monitor
4. **Replaced Parts Only** – For equipment where on-site calibration may not be required or may not be possible but includes parts that can be replaced while on-site. Ex. SR50A snow depth sensor
5. **Calibrated only** – For equipment where parts typically do not require replacement but can be calibrated while on site with a field calibration kit. Ex. TE525M tipping bucket rain gauge
6. **Functional Check Only** – For equipment that does not require maintenance, or where parts typically do not need to or cannot easily be replaced and cannot be calibrated while on-site. This equipment requires factory calibration Ex. CS106 BP sensor, CR1000 datalogger.
   Or if installing/commissioning/troubleshooting new or used equipment which does not require maintenance for the purpose of the trip.
7. **Not Applicable** – A serialized part that we want to record as inventory but does not have an operational function.

On-Site Field Check List

Site Specific Notes: (ex. ladder to access sensors, need keys to access site, special required safety equipment, etc…)
Site is located outside of the mine along 389. Two people are required to lower the last. Mast is very heavy.

Datalogger/Power/Communications Notes:
Station is powered by AC. Using Wi-Fi as communication method.

Sensor/Cable Notes: (Note here general condition of cables – Excellent, Good, Fair or Poor) Comment on any specific cables that are cracking, cut and or have been repaired Make notes if any cracks or damage to sensors/sensor housings, and fixes, if does not affect functionality
All sensor / cables are in excellent condition.

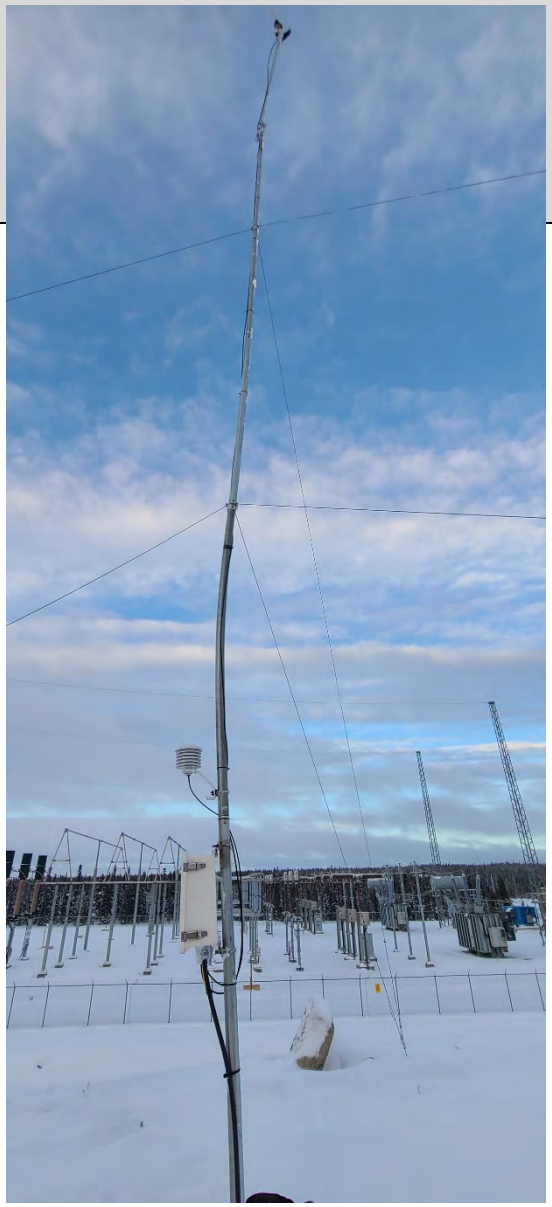
Tower/Tripod/Mount Notes: (ex. On tower – is winch rusted/in poor condition, is base loose, bolts rusted, etc.)
Mast is in terrible condition. It appears to have bent over time with the wind. The mast is unstable and is shaky at the top where the instrument is installed. Please see picture on page 4.

Other Notes or Work Completed To Be Documented:

On-Site Field Check List

Next Recommended Site Visit:

Follow Up Action Items For Next Visit:
Provide wiring diagram.



Rainfall per Tip	0.254 mm (0.01 in.)
Measurement Uncertainty	1.0% up to 50 mm/h (2 in./h)
Cable Type	2-conductor shielded
Orifice Diameter	20.3 cm (8 in.)

Dimensions	21 x 21 x 26.7 cm) (8.25 x 8.25 x 10.5 in.)
Cable Weight	0.1 kg (0.2 lb) per 3.05 m (10 ft) length
Tipping Bucket Weight	1.0 kg (2.2 lb)

For comprehensive details, visit: www.campbellsci.com/te525ws-l

CAMPBELL SCIENTIFIC®
Campbell Scientific, Inc. | 815 W 1800 N | Logan, UT 84321-1784 | (435) 227-9120 | www.campbellsci.com
AUSTRALIA | BRAZIL | CANADA | CHINA | COSTA RICA | FRANCE | GERMANY | INDIA | SOUTH AFRICA | SPAIN | THAILAND | UK | USA

© 2022 Campbell Scientific, Inc. | 04/10/2022

ANNEXE B

Rapports de maintenance

ANNEXE C

Rapport de vérification

NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Minerai de fer Québec		
PROJET :	Suivi 2022 de la qualité de l'air de la mine du lac Bloom	**Réf. WSP :**	181-03926-03
OBJET :	Vérification trimestrielle des données météorologiques – 2e trimestre 2022	**DATE :**	1er août 2022
DESTINATAIRE :	Caroline Hardy, Floriane Desmergers		

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de la réouverture de la mine du Lac Bloom située à Fermont, Minerai de fer Québec (MFQ) a mis en place, en 2017, un suivi de l'air autour de ses activités.

À cet effet, trois échantillonneurs à haut débit (High-Vol) ainsi qu'une station météorologique ont été installés par l'équipe de WSP en octobre 2017 sur trois sites représentatifs au nord, à l'ouest et au sud de la mine

En tout, trois stations météorologiques sont concernées par le suivi trimestriel. En effet, la première station appartient à MFQ (station MFQ) et est installée depuis 2014 au milieu du site sur le toit d'un bâtiment au nord du bassin PRG. La deuxième station installée en 2017 par WSP (station WSP) est située au sud de la mine juste à côté de la station PW. Elle a pour but d'obtenir des données météorologiques à proximité des équipements de qualité de l'air, pour la compilation et l'interprétation des résultats. La troisième station (station Poudrière) chargée de mesurer l'épaisseur de la neige est installée sur le site au nord-est près du bassin G. La carte 1 indique la position des trois stations.

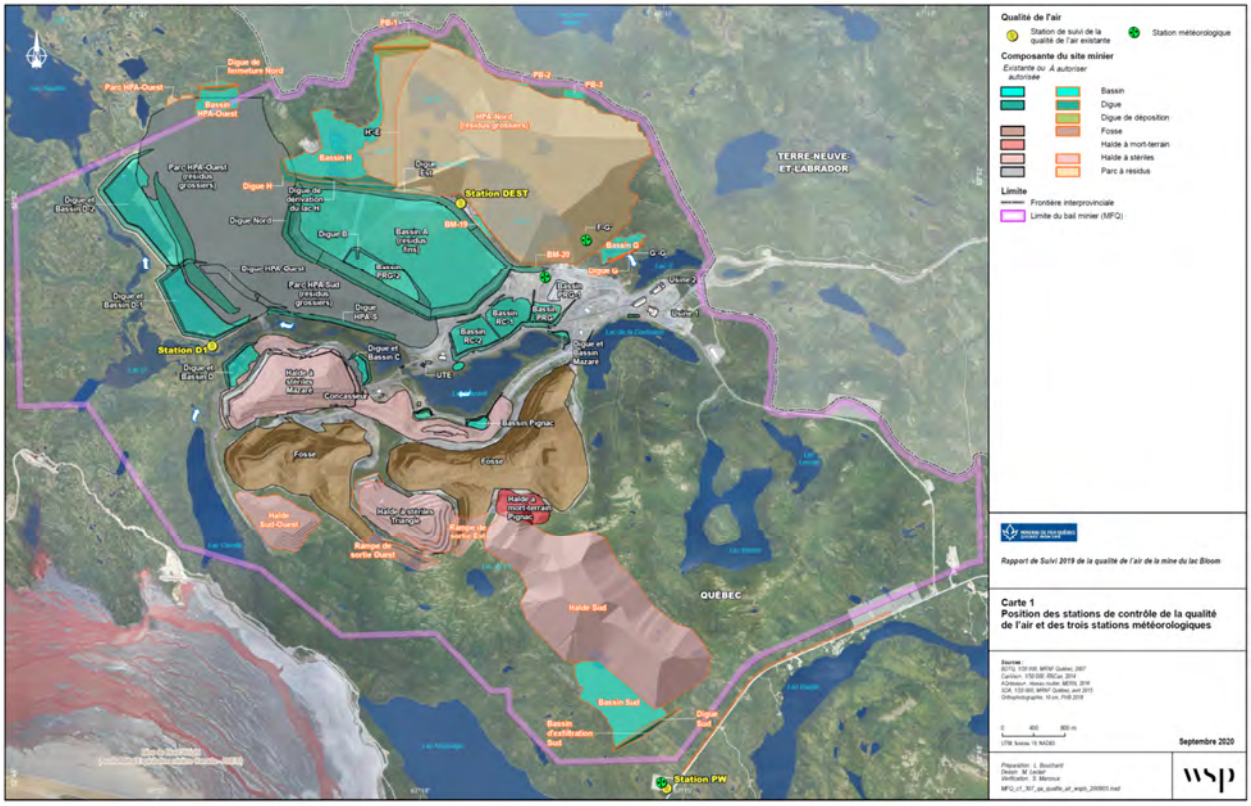
Cette note technique traite de la validation des données météorologiques pour le deuxième trimestre de l'année 2022, à savoir du 1er avril au 30 juin pour les trois stations.

WSP Canada Inc.
11e étage
1600, boulevard René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec) H3H 1P9
Canada

T : +1-514-340-0046
F : +1-514-340-1337

wsp.com

Carte 1 **Position des stations de contrôle de la qualité de l'air et des trois stations météorologiques**



2 VÉRIFICATION DES DONNÉES

2.1 SYSTÈMES INSTALLÉS

2.1.1 STATION MFQ

Un acquisiteur de données Campbell Scientific CR1000 collecte les données provenant d'une sonde de température et d'humidité relative HC2-S3-L, d'un moniteur de vent en version alpine 05103AP-10-L et d'un capteur de pression 61302V. La station étant sur le toit d'un bâtiment, seules la direction et la vitesse du vent sont valides. L'élévation de la station est de 702 mètres.

Tableau 1 **Caractéristiques des sondes de la station météorologique de MFQ**

Composants	Mesures	Min	Max	Précision	Seuil de départ
109-L	Température	-50°C	70°C	± 0,1°C	-
05103-10-L	Vitesse du vent	0 m/s	100 m/s	± 0,3 m/s	1,0 m/s
05103-10-L	Direction du vent	0°	355°	± 3°	1,1 m/s à 10°
61302V	Capteur de pression	-40°C	60°C	0,2 mb	-

2.1.2 STATION WSP

Un acquisiteur de données Campbell Scientific CR300 collecte les données provenant d'une sonde de température 109-L et d'un moniteur de vent 05103-10-L de R.M. Young. L'acquisiteur CR300 est dans sa version Wi-Fi afin de pouvoir télécharger les données à distance. Les caractéristiques des sondes sont données au tableau 2. L'élévation de la station est de 695 mètres.

Tableau 2 Caractéristiques des sondes de la station météorologique de WSP

Composants	Mesures	Min	Max	Précision	Seuil de départ
109-L	Température	-50°C	70°C	± 0,1°C	-
05103-10-L	Vitesse du vent	0 m/s	100 m/s	± 0,3 m/s	1,0 m/s
05103-10-L	Direction du vent	0°	355°	± 3°	1,1 m/s à 10°

Le décalage de 180° de la direction du vent pour la station WSP a été corrigé le 11 février 2020. En effet, la direction du vent enregistrée possédait un décalage de 180° par rapport à la station MFQ. Cela provenait d'une mauvaise installation de la sonde (inversion). Les données étaient corrigées lors de l'analyse pour avoir la bonne orientation. Par exemple, 280° devenait 100°.

2.1.3 STATION POUDRIÈRE

Un acquisiteur de données Campbell Scientific CR216X collecte les données provenant d'un capteur sonique qui permet de mesurer l'épaisseur de la neige (SR50-AT) et également de mesurer la température. Un pluviomètre à bascule TE25WS-L est également installé. L'élévation de la station est de 702 mètres.

Tableau 3 Caractéristiques des sondes de la station météorologique Poudrière

Composants	Mesures	Min	Max	Précision	Seuil de départ
SR50-AT	Température	-45°C	50°C	± 0,75°C	-
SR50-AT	Distance	0,5 m	10 m	± 1 cm	1,0 m/s
TE25WS-L	Précipitations	0 mm	50 mm/h	± 1 %	-

2.2 DÉTECTION DE PROBLÈMES

Les paramètres mesurés par la station MFQ sont la vitesse et la direction des vents, la température, la pression et l'humidité. La station MFQ étant sur un toit de bâtiment chauffé, seuls les paramètres de vents sont retenus pour l'analyse des données (EPA, 2000). En ce qui concerne la pression, la station WSP n'a pas de capteur de pression donc aucune comparaison n'est possible avec cette station. Cependant, les données de pression de la station MFQ seront quand même comparées à celles de la station de l'aéroport de Wabush qui servira de station de référence pour la validation des données. Pour la station WSP, les paramètres mesurés sont la vitesse et la direction des vents ainsi que la température. Pour la station Poudrière, c'est la température qui sera analysée.

Avant d'étudier plus en profondeur les données, les données sont d'abord analysées selon le guide de surveillance de données météorologiques de l'EPA (EPA, 2000) pour la surveillance des données météorologiques. WSP a conçu un fichier Excel de traitement de données permettant de vérifier les critères du guide de l'EPA. Le non-respect de l'un de ces critères entraîne une alerte permettant d'investiguer la cause de l'anomalie dans la donnée météorologique analysée. Par exemple, si la température descend en-dessous de -50°C, une alerte est associée à la période de la donnée et une évaluation plus approfondie de la cohérence de la donnée est faite.

Les critères vérifiés sont indiqués dans le tableau 4 en fonction des différents paramètres mesurés aux stations. Le tableau indique les conditions nécessaires pour déclencher un avertissement, par exemple une vitesse de vent négative. L'EPA indique encore quelques autres critères mais pour des paramètres non mesurés par les stations en opération à MFQ. Ces critères ne sont donc pas analysés. Les critères du vent, de température et de pression proviennent des minima et maxima de la station Wabush entre 2017 et 2021 pour le deuxième trimestre de chaque année.

Tableau 4 Critère d'avertissement des données météorologiques du guide de surveillance des données météorologiques de l'EPA

Critère	Valeur	Comportement anormal – hypothèse WSP
Vitesse du vent (m/s)		
Plus petite que	0	Vitesse de vent négative
Plus grande que	15,28	Vitesse importante, donnée à vérifier
Ne varie pas pendant 3 h de plus de	0,1	Anémomètre bloqué/perte de signal
Ne varie pas pendant 12 h de plus de	0,5	Anémomètre bloqué/perte de signal
Direction du vent (°)		
Plus petite que	0	Direction de vent négative
Plus grande que	360	Direction de vent de plus de 360°
Ne varie pas pendant 3 h de plus de	1	Girouette bloquée/perte de signal
Ne varie pas pendant 18 h de plus de	10	Girouette bloquée/perte de signal
Température (°C)		
Plus petite que le minimum local	-35,8	Température très basse/erreur signal
Plus grande que le maximum local	29,2	Température élevée pour la région/erreur signal
Varie pendant 1 h de plus de	5	Fonctionnement de la sonde de température
Ne varie pas pendant 12 h de plus de	0,5	Fonctionnement de la sonde de température
Pression (mb)		
Plus petite que	918,6	Pression trop basse
Plus grande que	971,0	Pression très haute
Varie pendant 3 h de plus de	6	Variation rapide de la pression/erreur signal

Bien qu'uniquement les données de vitesse et de direction du vent pour la station MFQ seront analysées, les données de température et de pression ont été vérifiées. Les précipitations venant de la station Poudrière ne sont pas analysées, seule la température sera analysée.

Les avertissements n'indiquent pas de comportement anormal lorsque les données connexes suivent la tendance. Lorsqu'il y a un avertissement, celui-ci est analysé afin de pouvoir expliquer et vérifier cet avertissement. Un avertissement inexpliqué pourrait indiquer un mauvais fonctionnement du capteur, de l'acquisiteur ou ailleurs dans la station.

Lors de la vérification des données par rapport aux critères pour la station MFQ, quelques avertissements sont apparus pour la vitesse du vent et la température mais aucun n'indiquait un comportement anormal dans les données comme défini plus haut.

Le résumé de l'analyse est présenté au tableau 5. Le nombre en-dessous du critère indique le nombre de fois que ce critère n'a pas été respecté.

Lors de la vérification des données par rapport aux critères pour la station WSP, quelques avertissements sont apparus pour la température et la vitesse du vent mais aucun n'indiquait un comportement anormal dans les données. Le résumé de l'analyse est présenté au tableau 6.

Lors de la vérification de la sonde de température de la station Poudrière, quelques avertissements sont apparus mais aucun n'indiquait un comportement anormal dans les données. Le résumé de l'analyse se trouve au tableau 7.

Il est important de préciser que ces vérifications visent la cohérence des données et non que les données soient exactes et précises. Elles permettent de savoir si les données ne présentent aucun comportement anormal. Par exemple, le baromètre pourrait indiquer une pression de 960 mb alors que la pression réelle est de 1030 mb. La vérification de ce critère telle qu'effectuée dans le cadre de ce rapport ne détecterait pas ce problème.

Tableau 5 Vérifications d'anomalies pour les données météorologiques de la station MFQ

Paramètre mesuré	Vitesse du vent (m/s)		Direction du vent (°)		Température (°C)		Pression (mb)	
	RM Young, 05103AP-10-L		RM Young, 05103AP-10-L		Campbell, HC2-S3-L		RM Young, 61302V	
Critère	Compteur < 0 ou > 15,3		Compteur < 0 ou > 360		Compteur < -35,8		Compteur < 918,6	
Nombre d'alertes	0		0		0		0	
Critère	Compteur 3 h < 0,1		Compteur 3 h < 1		Compteur > 29,2		Compteur > 971,0	
Nombre d'alertes	13		0		0		0	
Critère	Compteur 12 h < 0,5		Compteur 18 h < 10		Compteur 1 h > 5		Compteur 3 h > 6	
Nombre d'alertes	5		0		0		0	
Critère	N/A		N/A		Compteur 12 h < 0,5		N/A	
Nombre d'alertes					0			
Statistiques	Max :	14,6	Max :	N/A	Max :	23,3	Max :	965,0
	Min :	0,2	Min :	N/A	Min :	-15,7	Min :	927,0
	Moyenne :	5,3	Moyenne :	179,8	Moyenne :	3,6	Moyenne :	948,0

Les avertissements pour les compteurs du paramètre « Vitesse du vent » ne sont pas des mesures précises sachant que le seuil de départ est de 1,0 m/s.

Tableau 6 Vérifications d'anomalies pour les données météorologiques de la station WSP

Paramètre mesuré	**Vitesse du vent (m/s)**		**Direction du vent (°)**		**Température (°C)**	
	RM Young, 05103-10-L		RM Young, 05103-10-L		Campbell, 109-L	
Critère	Compteur < 0 ou > 15,3		Compteur < 0 ou > 360		Compteur < -35,8	
Nombre d'alertes	1		1		0	
Critère	Compteur 3 h < 0,1		Compteur 3 h < 1		Compteur > 29,2	
Nombre d'alertes	17		0		0	
Critère	Compteur 12 h < 0,5		Compteur 18 h < 10		Compteur 1 h > 5	
Nombre d'alertes	1		0		4	
Critère	N/A		N/A		Compteur 12 h < 0,5	
Nombre d'alertes					0	
Statistiques	Max :	9,5	Max :	N/A	Max :	23,9
	Min :	0,1	Min :	N/A	Min :	-14,9
	Moyenne :	4,1	Moyenne :	183,8	Moyenne :	3,6

Comme pour la station MFQ, les avertissements pour les compteurs du paramètre « Vitesse du vent » ne sont pas des mesures précises sachant que le seuil de départ est de 1,0 m/s. Il est à remarquer qu'il y a eu un problème de mesure le 15 juin à 9h00 avec une mesure de vitesse et direction du vent négative, ce qui est impossible. Ces mesures ne sont pas reprises dans le calcul de moyenne.

Le tableau 7 donne les statistiques de la station Poudrière et le tableau 8 les statistiques de la station météorologique de l'aéroport de Wabush pour le deuxième trimestre de 2022. La station de l'aéroport de Wabush est située à environ 20 km au nord-est de la ville de Fermont.

Tableau 7 Vérifications d'anomalies pour les données météorologiques pour la station Poudrière

Paramètre mesuré	Température (°C)	
	SR50-AT	
Critère	Compteur < -35,8	
Nombre d'alertes	0	
Critère	Compteur > 29,2	
Nombre d'alertes	0	
Critère	Compteur 1 h > 5	
Nombre d'alertes	10	
Critère	Compteur 12 h < 0,5	
Nombre d'alertes	0	
Statistiques	Max :	23,7
	Min :	-15,7
	Moyenne :	3,6

En hiver, il n'y a pas de pluie et le système ne détecte rien. Concernant l'épaisseur de la neige, il n'y a pas de référence de celle-ci à la station Wabush.

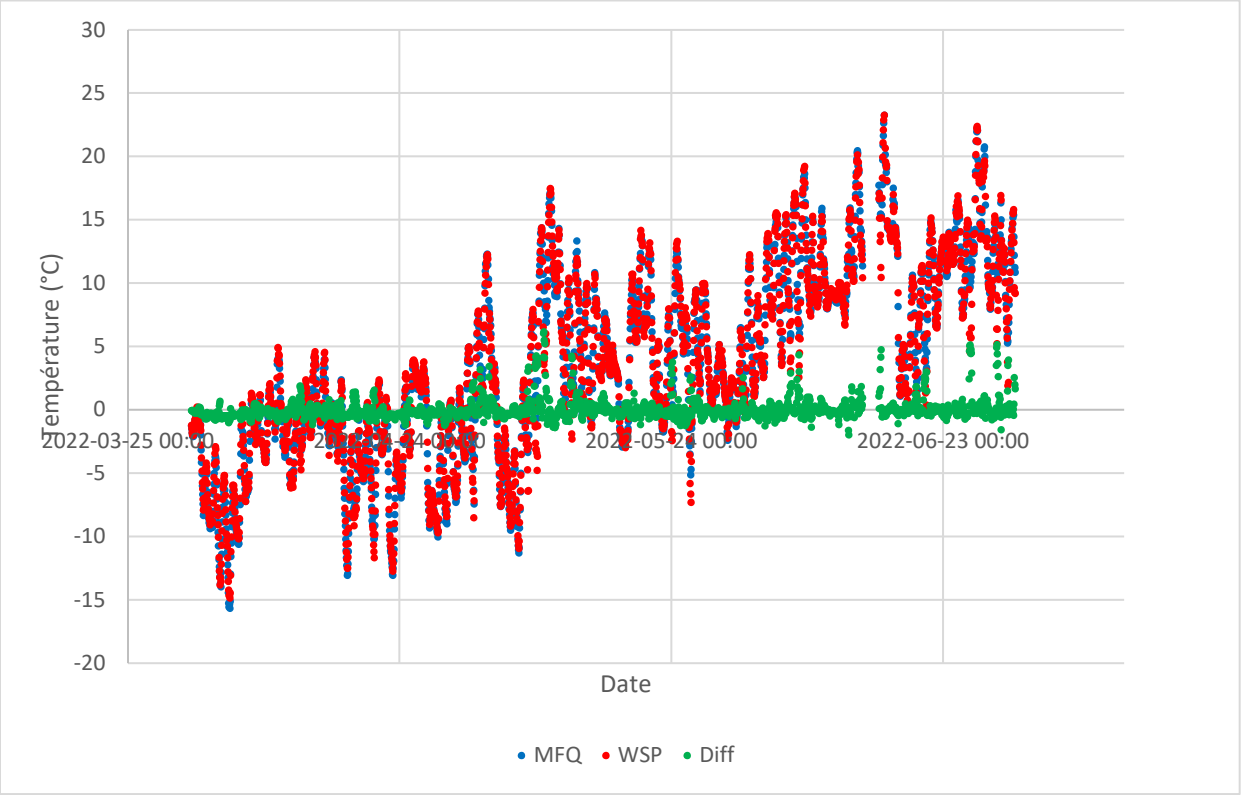
Tableau 8 Statistiques de la station météorologique de l'aéroport de Wabush pour le 2e trimestre 2022

Paramètre mesuré	Vitesse du vent (m/s)		Direction du vent (°)		Température (°C)		Pression (mb)	
Statistiques	Max :	12,5	Max :	N/A	Max :	26,5	Max :	965,0
	Min :	0,0	Min :	N/A	Min :	-16,2	Min :	926,7
	Moyenne :	4,1	Moyenne :	167,7	Moyenne :	4,3	Moyenne :	948,5

2.3 ANALYSE DES DONNÉES ET COMPARAISON

La figure suivante donne la température en fonction du temps pour la station MFQ et la station WSP. Ces comparaisons sont seulement données à titre indicatif pour la station MFQ puisque celle-ci est sur le toit d'un bâtiment (EPA, 2000). La courbe verte indique la différence entre les deux mesures.

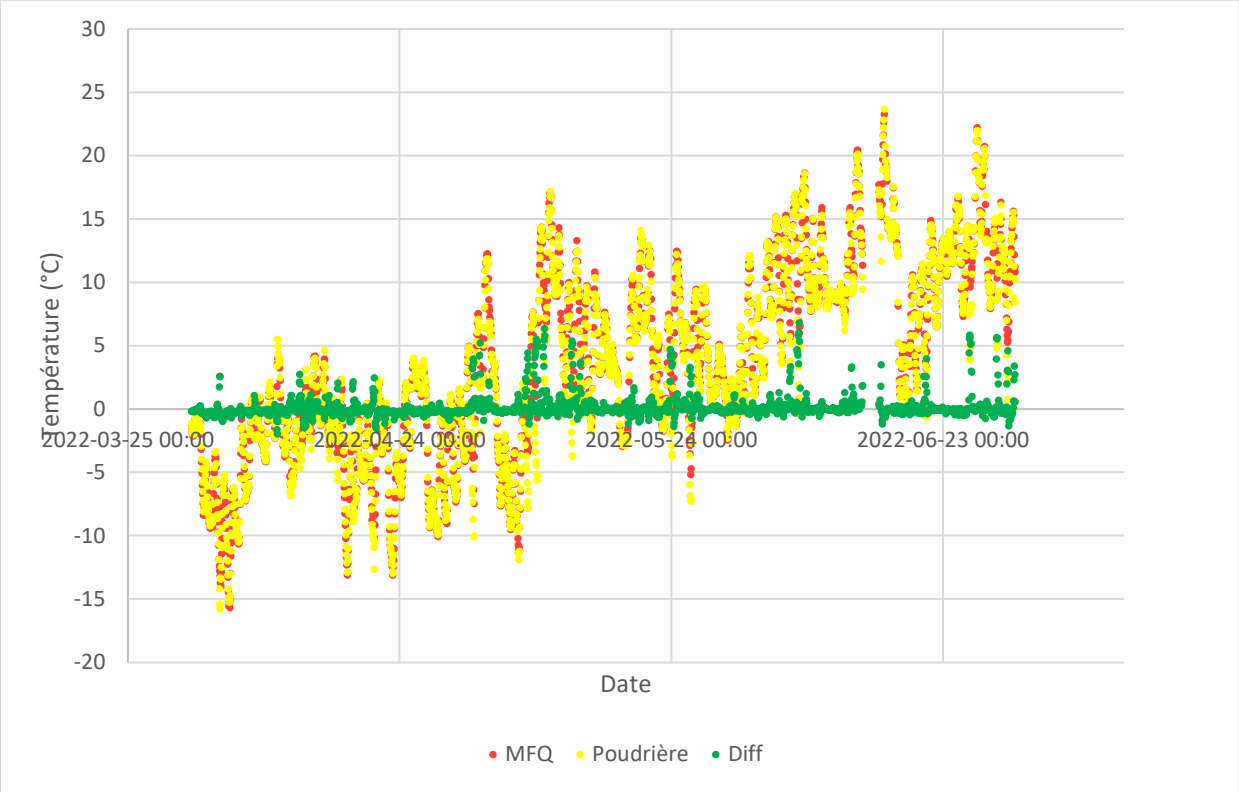
Figure 1 Température du 2e trimestre aux stations MFQ et WSP



La mesure des températures est quasi identique entre les deux stations comme le montre la courbe Différence qui représente la différence entre les deux courbes. La moyenne de la différence est de 0,03°C avec un écart-type de 0,81°C. Les variations pourraient être dues au fait que la station MFQ est sur un bâtiment chauffé.

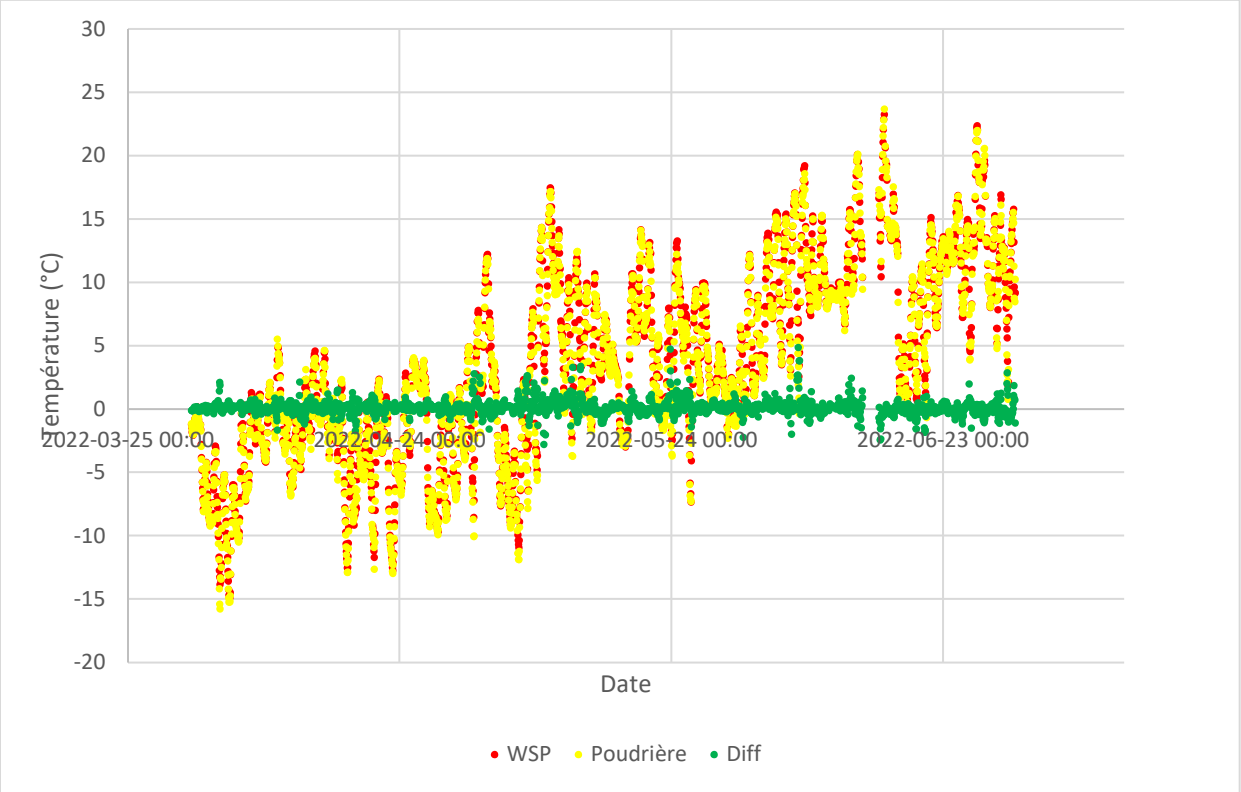
La figure suivante compare la température entre la station MFQ et celle de la station Poudrière.

Figure 2 **Température du 2e trimestre aux stations MFQ et Poudrière**



La mesure des températures est quasi identique entre les deux stations comme le montre la courbe Différence qui représente la différence entre les deux courbes. La moyenne de la différence est de 0,19°C avec un écart-type de 0,94°C.

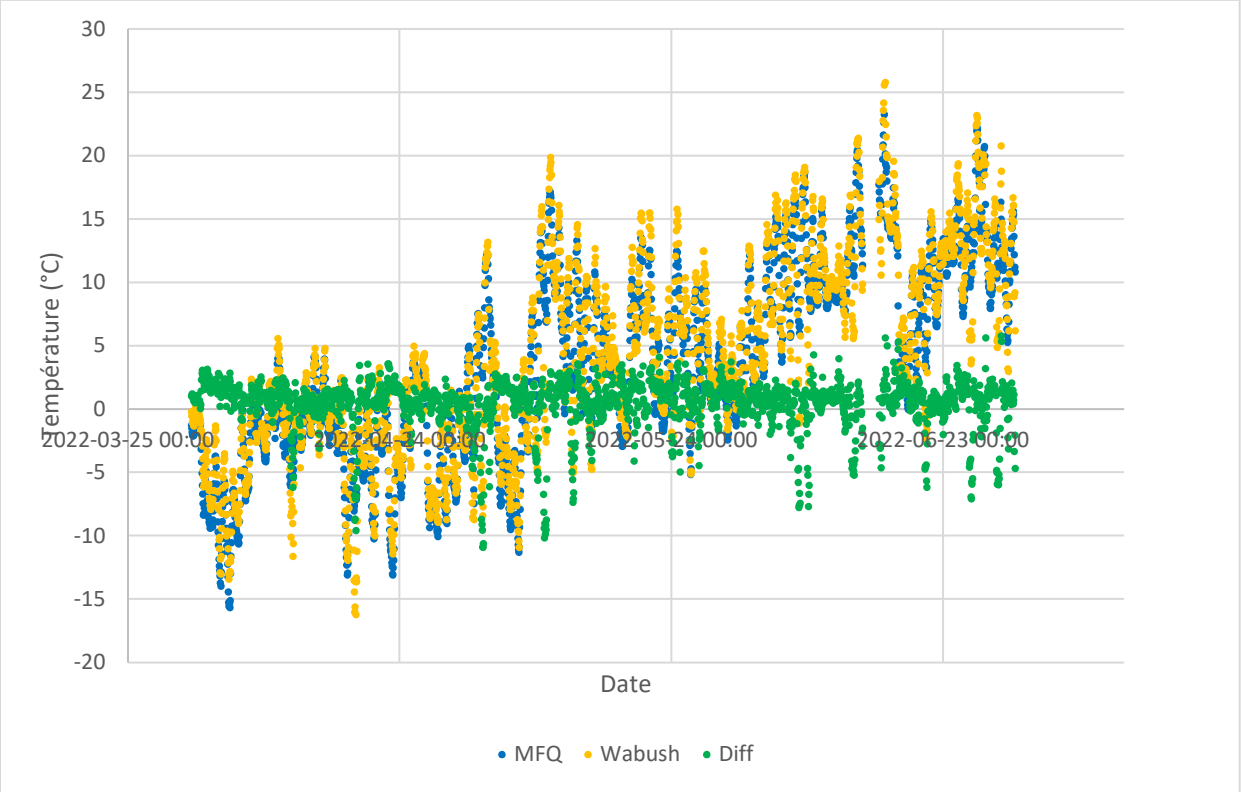
Figure 3 Température du 2e trimestre aux stations WSP et Poudrière



La mesure des températures est quasi identique entre les deux stations comme le montre la courbe Différence qui représente la différence entre les deux courbes. La moyenne de la différence est de 0,16°C avec un écart-type de 0,57°C.

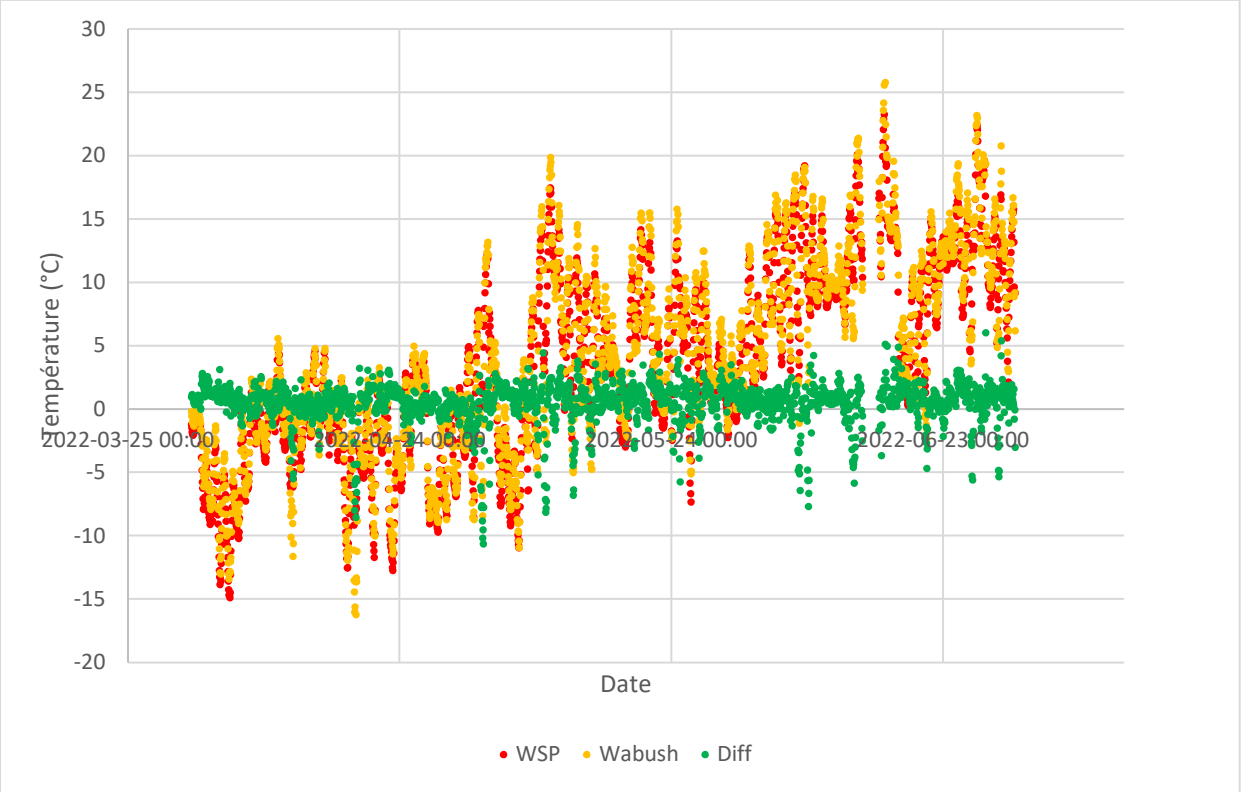
Les figures suivantes comparent les températures respectivement de la station MFQ avec la station Wabush, de la station WSP avec la station Wabush et de la station Poudrière avec la station Wabush.

Figure 4 Comparaison entre les températures du 2e trimestre entre les stations Wabush et MFQ



La mesure des températures est quasi identique entre les deux stations comme le montre la courbe Différence qui représente la différence entre les deux courbes. La moyenne de la différence est de 0,51°C avec un écart-type de 1,94°C. Les variations pourraient être dues au fait que la station MFQ est sur un bâtiment chauffé.

Figure 5 **Comparaison entre les températures du 2e trimestre entre les stations Wabush et WSP**



La mesure des températures est quasi identique entre les deux stations comme le montre la courbe Différence qui représente la différence entre les deux courbes. La moyenne de la différence est de 0,53°C avec un écart-type de 1,61°C.

Figure 6 Comparaison entre les températures du 2e trimestre entre les stations Wabush et Poudrière

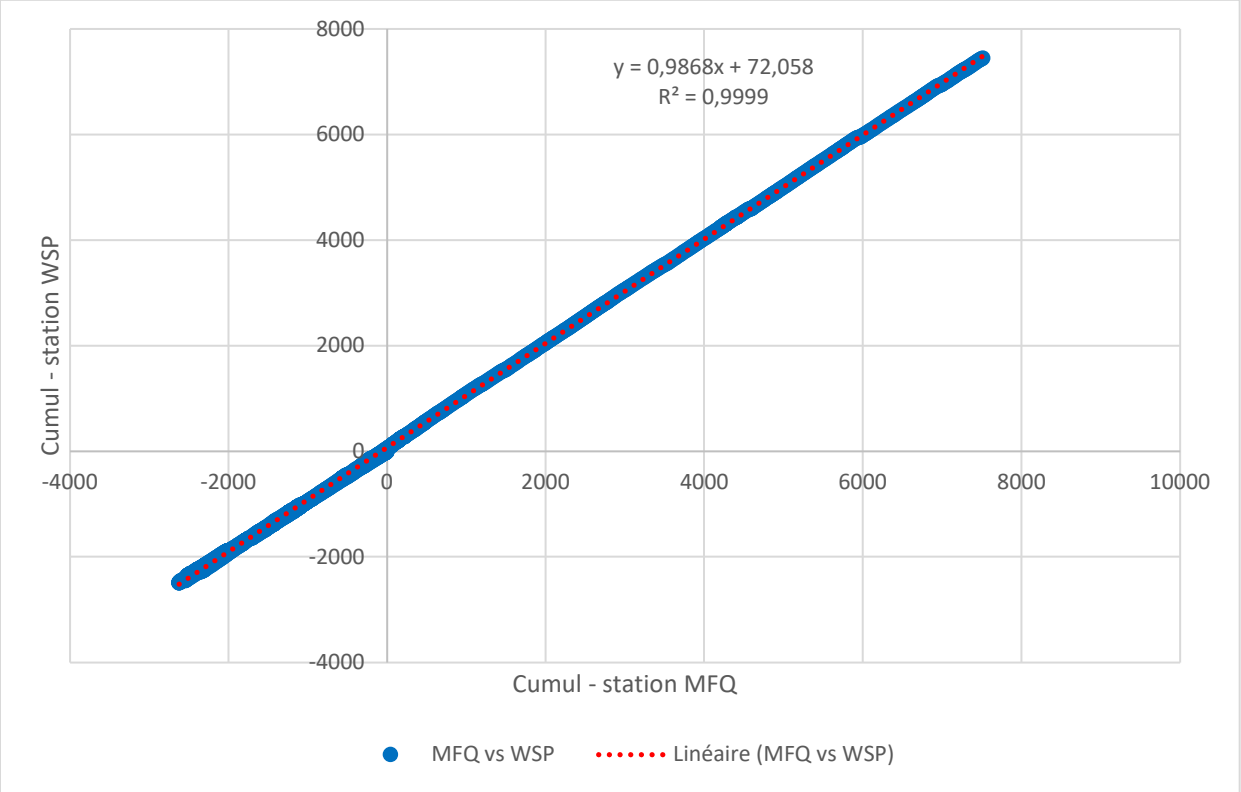
La mesure des températures est quasi identique entre les deux stations comme le montre la courbe Différence qui représente la différence entre les deux courbes. La moyenne de la différence est de 0,69°C avec un écart-type de 1,70°C.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Afin de bien comparer les données de la station MFQ avec celle de WSP, de la station Poudrière et à celle de référence du ministère, une courbe des doubles cumuls est utilisée (OMM, 2011). Les courbes des doubles cumuls sont souvent employées pour vérifier entre elles différentes mesures. Il s'agit de faire le graphique des valeurs successives cumulées de la série à traiter en regard des valeurs cumulées correspondantes de la série de référence pour chaque période. Si le rapport entre la série étudiée et la série de référence demeure constant dans le temps, la courbe des doubles cumuls présente alors une pente constante. Toute variation importante de la pente ou de la forme de la courbe indique un changement dans le rapport entre les deux séries.

La figure 7 présente la courbe des doubles cumuls pour la température entre les stations MFQ et WSP, la figure 8 la courbe des doubles cumuls entre la station MFQ et celle de référence de Wabush, la figure 9 entre les stations WSP et Wabush, la figure 10 entre les stations MFQ et Poudrière et la figure 11 entre les stations Poudrière et Wabush.

Figure 7 Courbe des doubles cumuls pour la température entre les stations MFQ et WSP



Le R² de la courbe de tendance est proche de 1 et indiquerait un lien entre les deux séries. Vu qu'il n'y a pas de cassure dans la courbe, cela indique que les données mesurées ne montrent aucun comportement suspect.

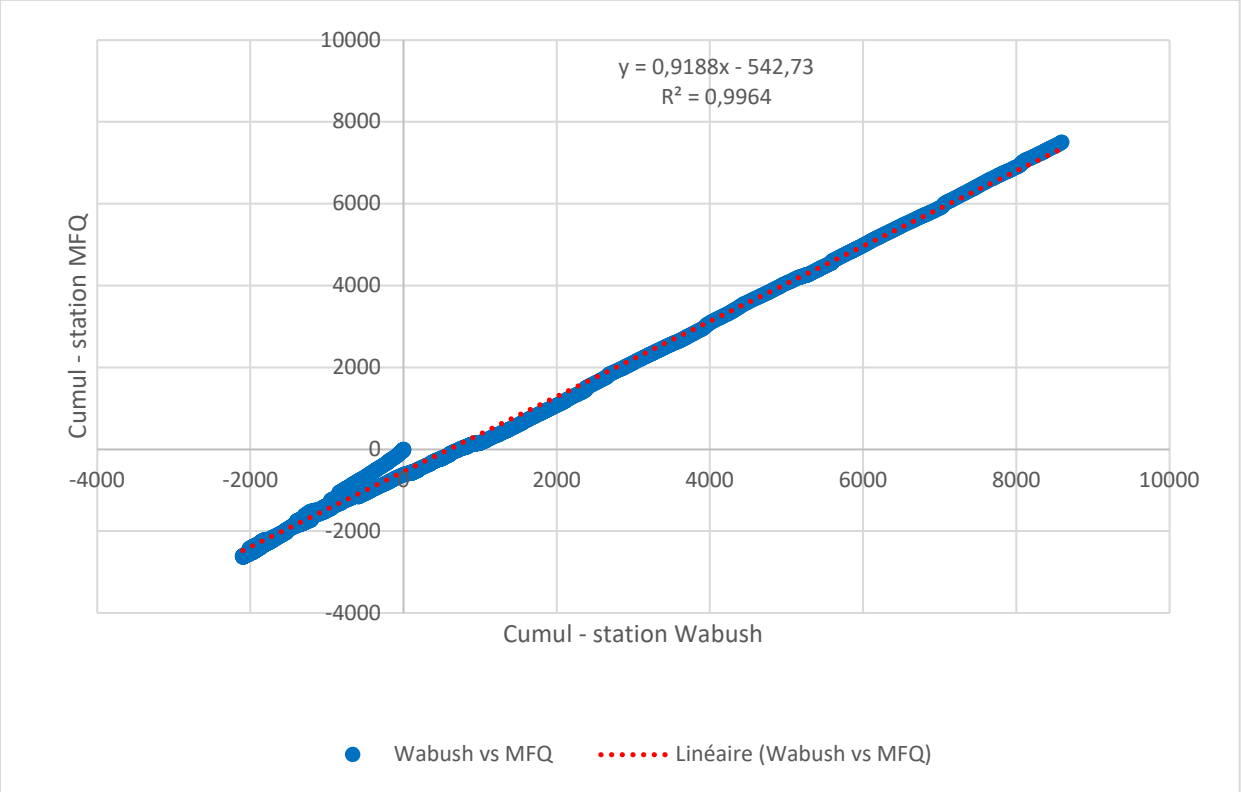
Cependant, il faut aller plus loin. En effet, afin de voir si les deux séries de données sont corrélées entre elles, le calcul du facteur de corrélation de Pearson est calculé à condition d'avoir au préalable vérifié que les deux séries sont normales. C'est ce qui est le cas ici. Le coefficient de corrélation de Pearson *r* a pour but de détecter la présence ou non d'une relation linéaire entre deux variables quantitatives continues et est compris entre -1 et 1 (OMM, 2011).

Si *r* est compris entre -1 et 0 alors il y a une relation linéaire négative entre les deux séries, si $r = 0$ alors il y a absence de relation linéaire et si *r* est compris entre 0 et 1 il y a une relation linéaire entre les deux séries.

Le coefficient de corrélation de Pearson pour la température entre les stations MFQ et WSP est égal à 0,9941. Un coefficient de corrélation de Pearson supérieur à 0,9 indique une très forte corrélation entre les deux séries pour la température. Cependant, afin de vérifier que la corrélation n'est pas fortuite, il est important de calculer la probabilité que la corrélation soit nulle c'est-à-dire la valeur P. Si la valeur P de nos séries est inférieure à 5 % alors notre corrélation est dite statistiquement significative. Dans notre cas, $P < 0,001$ et ainsi notre corrélation de 0,9941 est significative. De plus le carré du facteur de corrélation donne 0,93 donc cela indique que 99 % des données sont corrélées entre elles.

Le même exercice d'analyse est réalisé pour la station MFQ avec la station Wabush et la station WSP avec la station Wabush.

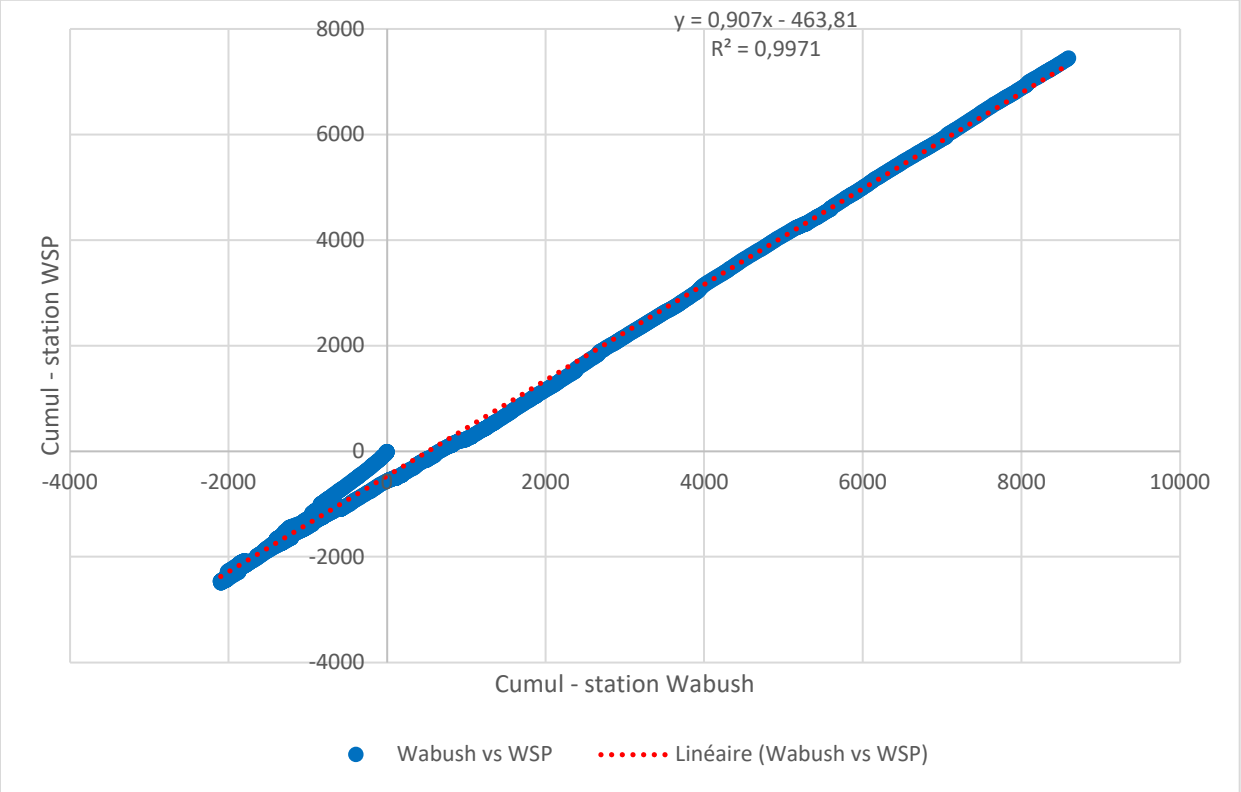
Figure 8 Courbe des doubles cumuls pour la température entre les stations MFQ et Wabush



Le R^2 est proche de 1 et la courbe ne présente pas de cassures. Cela indique qu'il n'y a aucune donnée anormale. La forme spéciale du bas de la courbe s'explique par le fait que la remontée des températures n'est pas la même entre les deux stations.

Le facteur de corrélation de Pearson *r* vaut 0,9668 indiquant une forte corrélation entre les deux séries pour la pression atmosphérique avec 93 % des données corrélées entre elles, ce qui est un peu moins bon qu'entre les stations MFQ et WSP. La valeur P comme précédemment est < 0,001. Le facteur de corrélation de Pearson est donc statistiquement significatif.

Figure 9 Courbe des doubles cumuls pour la température entre les stations WSP et Wabush

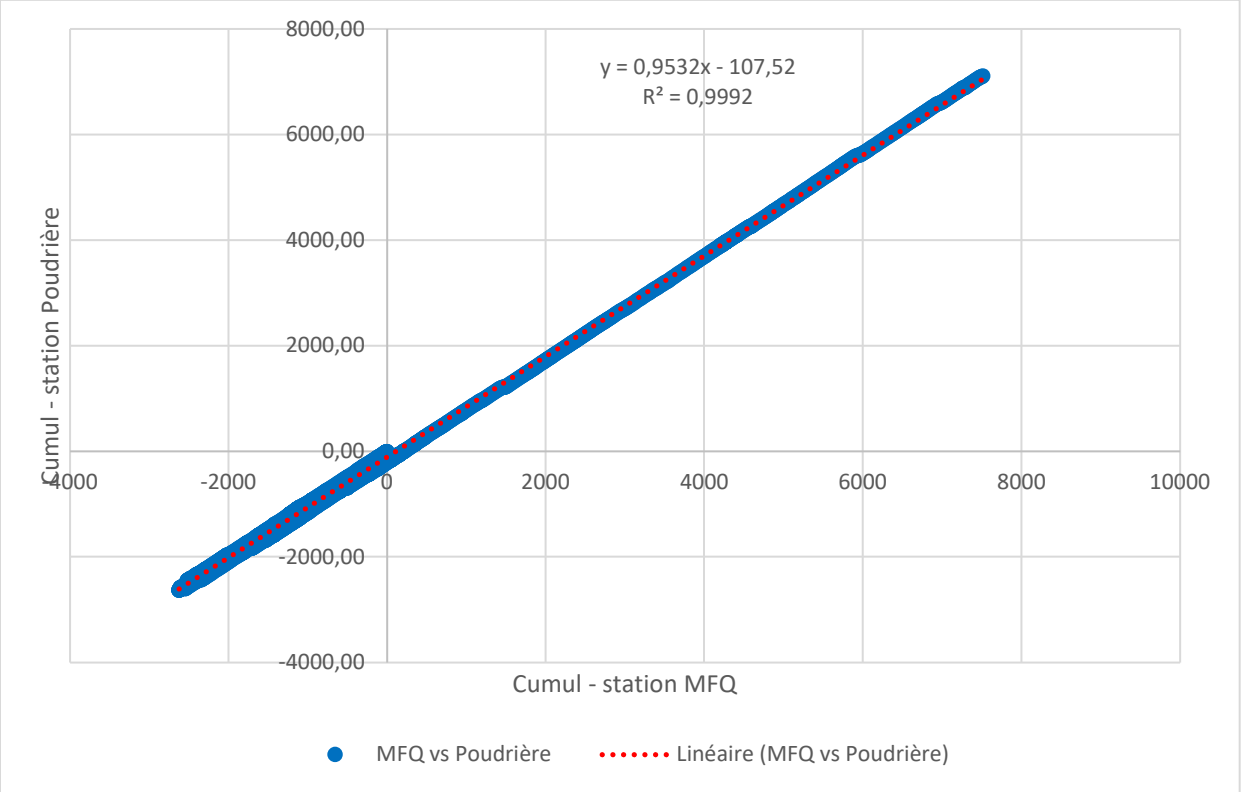


De nouveau, le R^2 est proche de 1 et la courbe ne présente pas de cassures. Cela indique qu'il n'y a aucune donnée anormale.

Le facteur de corrélation de Pearson *r* vaut 0,9771 indiquant une forte corrélation entre les deux séries pour la pression atmosphérique avec 95 % des données corrélées entre elles. La valeur P comme précédemment est < 0,001. Le facteur de corrélation de Pearson est donc statistiquement significatif.

La figure 10 présente la courbe des doubles cumuls entre les stations MFQ et Poudrière.

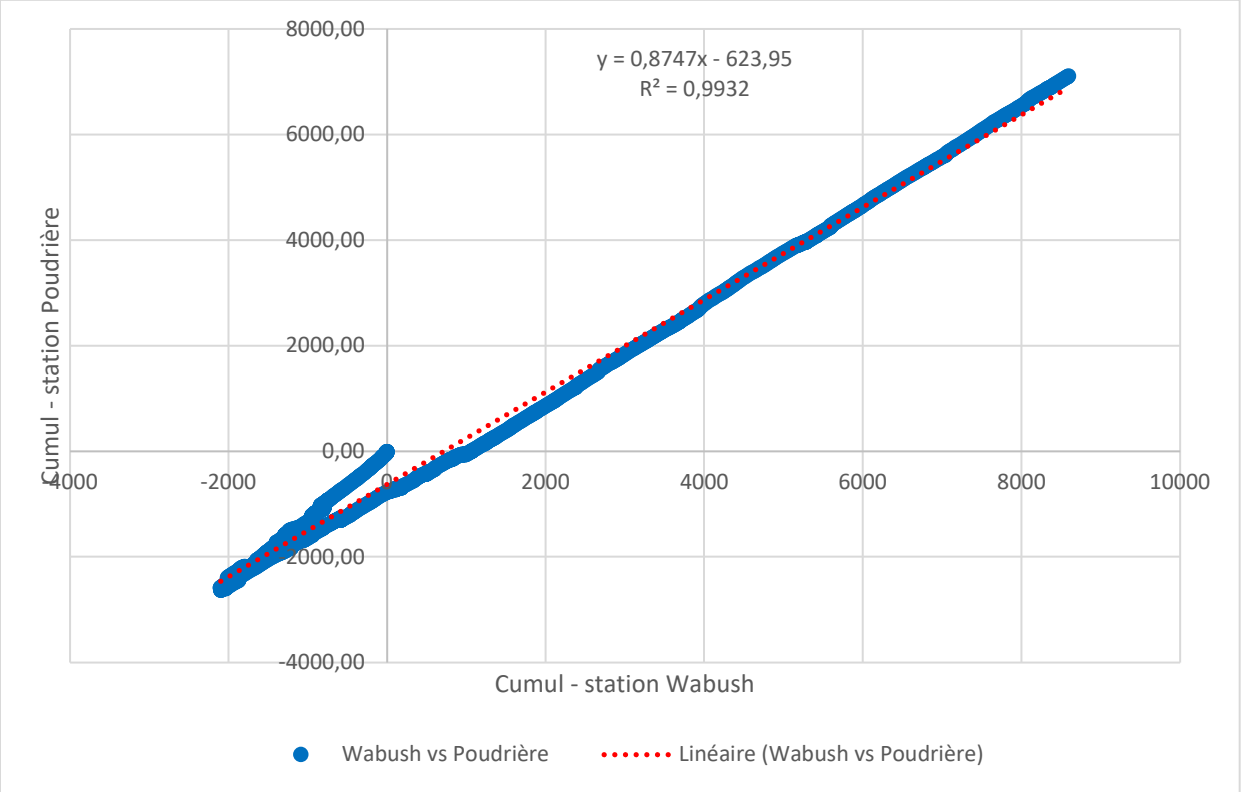
Figure 10 Courbe des doubles cumuls pour la température entre les stations MFQ et Poudrière



Le R^2 est proche de 1 et la courbe ne présente pas de cassures. Cela indique qu'il n'y a aucune donnée anormale.

Le facteur de corrélation de Pearson *r* vaut 0,992 indiquant une forte corrélation entre les deux séries pour la pression atmosphérique avec 98 % des données corrélées entre elles. La valeur P comme précédemment est < 0,001. Le facteur de corrélation de Pearson est donc statistiquement significatif.

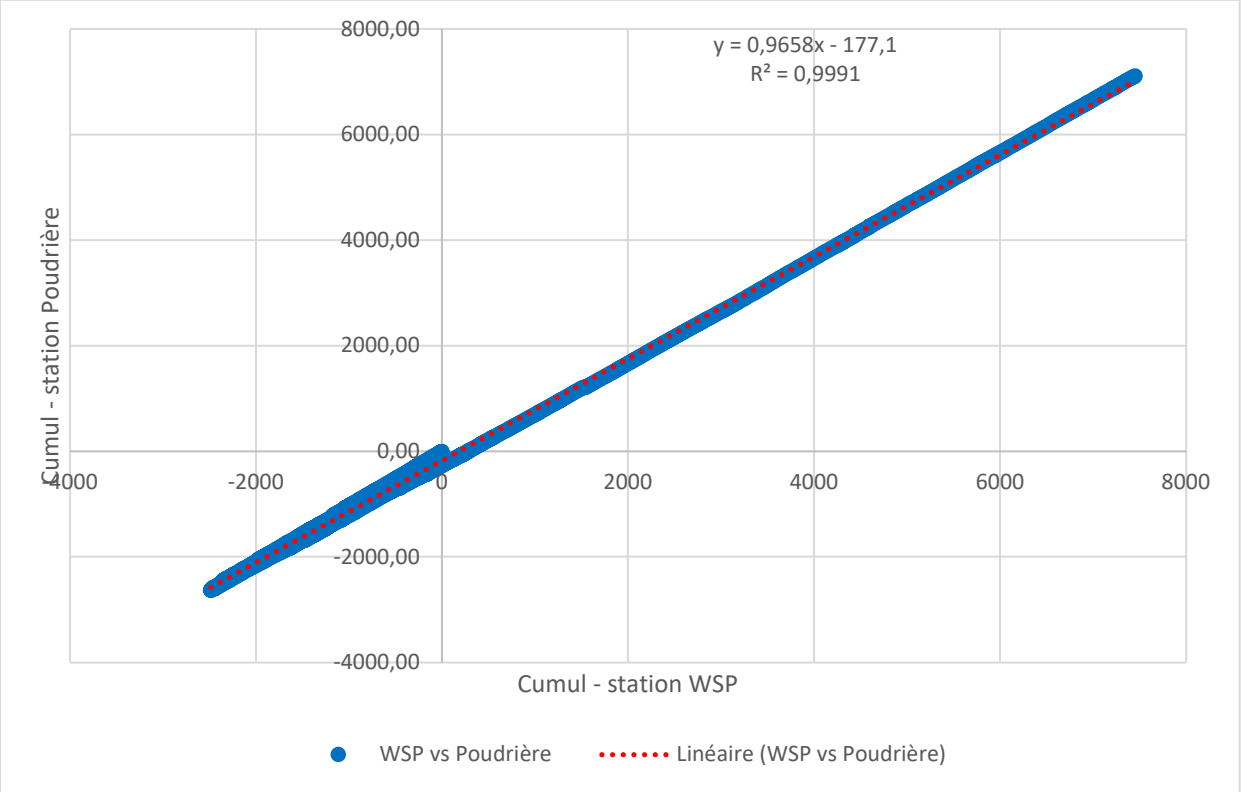
Figure 11 Courbe des doubles cumuls pour la température entre les stations Wabush et Poudrière



De nouveau, le R^2 est proche de 1 et la courbe ne présente pas de cassures. Cela indique qu'il n'y a aucune donnée anormale. Et comme les précédentes courbes, la forme spéciale du bas de la courbe s'explique par le fait que la remontée des températures n'est pas la même entre les deux stations.

Le facteur de corrélation de Pearson *r* vaut 0,9745 indiquant une forte corrélation entre les deux séries pour la pression atmosphérique avec 95 % des données corrélées entre elles. La valeur P comme précédemment est < 0,001. Le facteur de corrélation de Pearson est donc statistiquement significatif.

Figure 12 Courbe des doubles cumuls pour la température entre les stations WSP et Poudrière

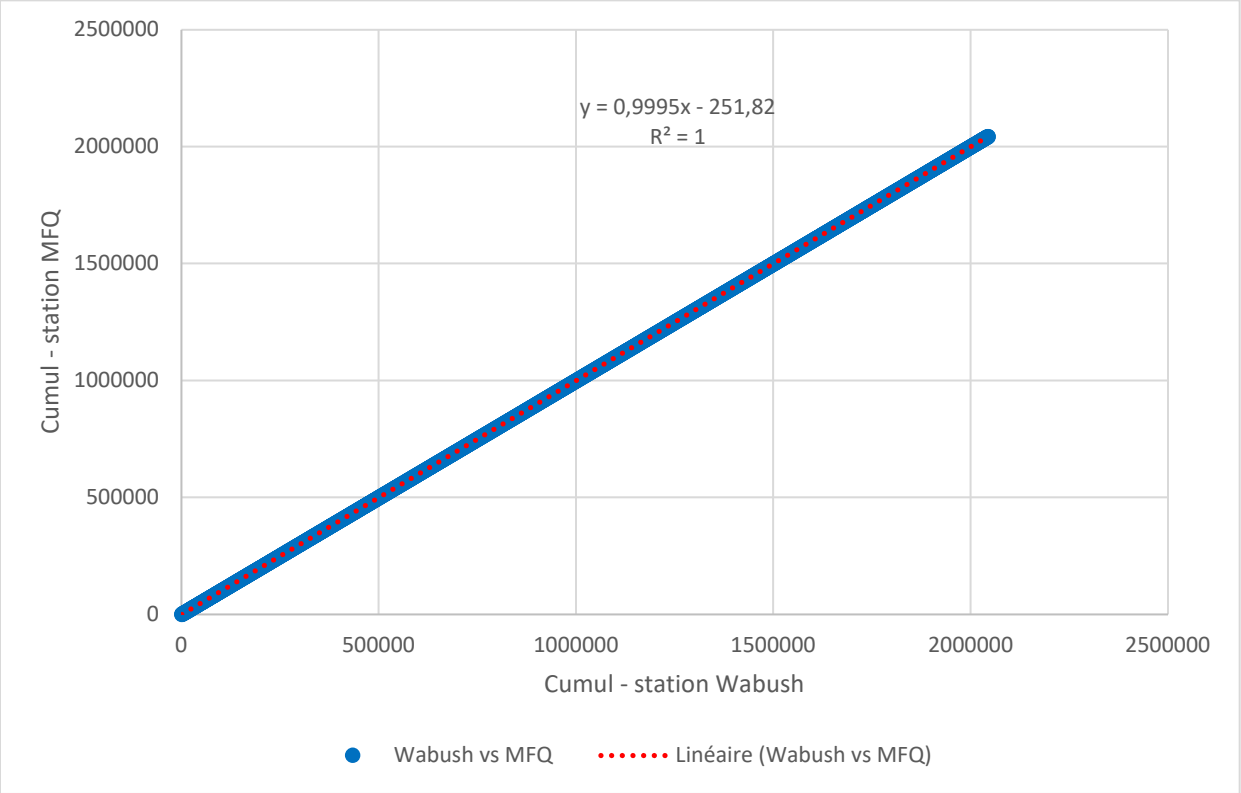


Le R² est proche de 1 et la courbe ne présente pas de cassures. Cela indique qu'il n'y a aucune donnée anormale.

Le facteur de corrélation de Pearson *r* vaut 0,997 indiquant une forte corrélation entre les deux séries pour la pression atmosphérique avec 99 % des données corrélées entre elles. La valeur P comme précédemment est < 0,001. Le facteur de corrélation de Pearson est donc statistiquement significatif.

Le même exercice est réalisé pour la mesure de la pression barométrique à la station MFQ uniquement puisque les deux autres ne possèdent pas de capteur de pression. La figure 13 donne le graphique des doubles cumuls pour la pression entre les stations MFQ et Wabush.

Figure 13 **Courbe des doubles cumuls pour la pression barométrique entre les stations MFQ et Wabush**



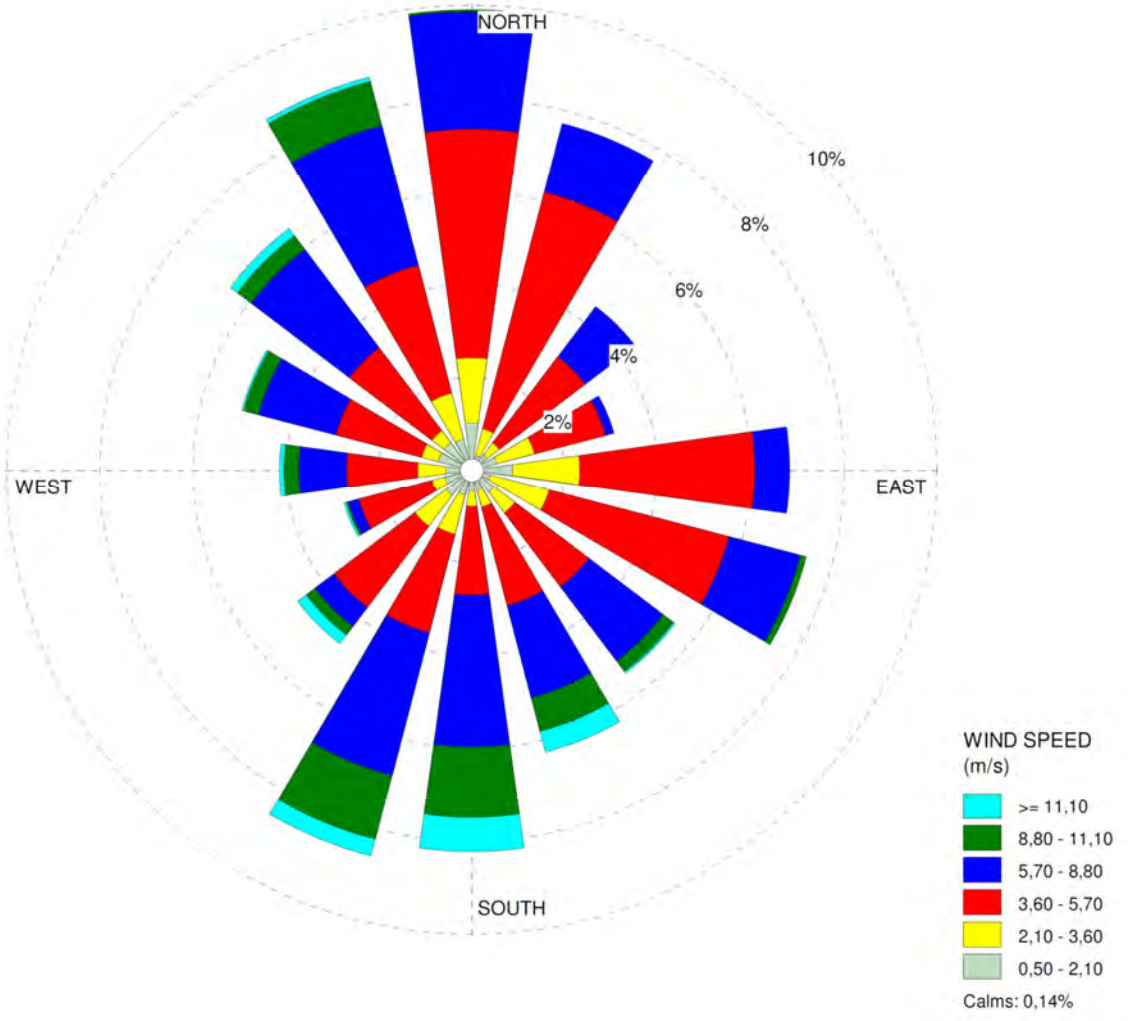
Pour la pression barométrique, le R^2 est proche de 1 et la courbe ne présente pas de cassures. Cela indique qu'il n'y a aucune donnée anormale.

Le facteur de corrélation de Pearson *r* vaut 0,9926 indiquant une forte corrélation entre les deux séries pour la pression atmosphérique avec 99 % des données corrélées entre elles. La valeur P comme précédemment est < 0,001. Le facteur de corrélation de Pearson est donc statistiquement significatif.

2.5 ROSES DES VENTS

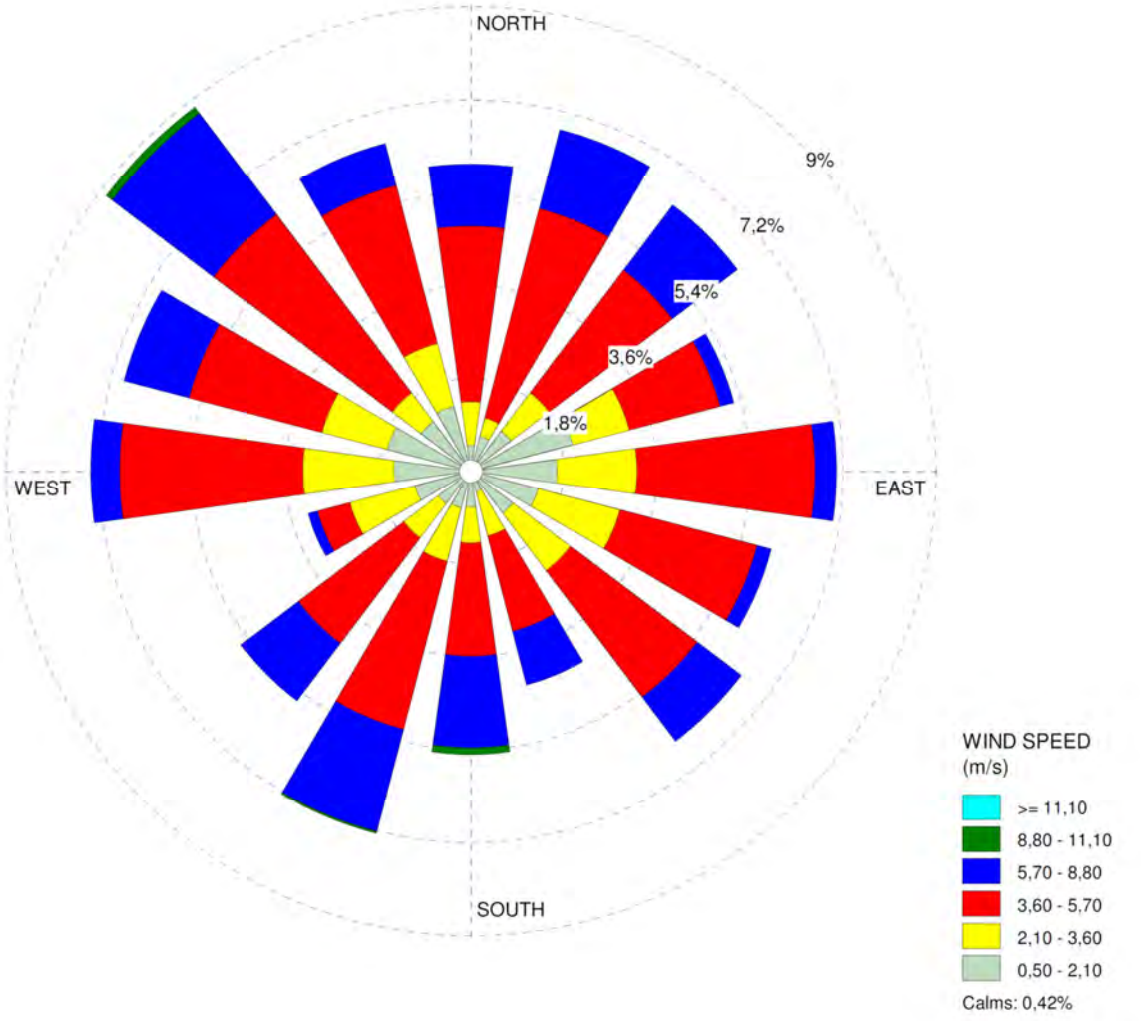
Les figures 14 et 15 montrent les roses des vents respectivement pour la station MFQ et la station WSP.

Figure 14 Rose des vents de la station MFQ pour le 2e trimestre de 2022



La vitesse moyenne du vent est de 5,32 m/s.

Figure 15 Rose des vents de la station WSP pour le 2e trimestre de 2022



La vitesse moyenne du vent est de 4,12 m/s.

Étant donné la position différente des deux stations, les roses des vents entre les deux stations ne sont pas identiques mais elles indiquent quand même la même direction préférentielle de provenance des vents, à savoir entre le nord, nord-est et l'est.

3 CONCLUSIONS

Les données météorologiques du deuxième trimestre de 2022 des stations MFQ, WSP et Poudrière n'ont pas montré d'avertissements inexpliqués. Elles se comportent normalement. Les deux roses des vents bien que différentes indiquent la même provenance des vents dominants entre le nord, le nord-est et l'est.

Les analyses statistiques démontrent une forte corrélation entre les stations MFQ, WSP, Poudrière et la station de référence Wabush pour la température et la pression barométrique. Cela indique un comportement identique à la station de référence Wabush et entre elles.

4 BIBLIOGRAPHIE

- MDDELCC, 2017. *Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques*. 95 p.
- OMM, 2011. *Guides pratiques climatologiques*. 152 p.
- Site internet : *What is Pearson correlation? Including test assumptions. (*http://toptipbio.com/what-is-pearson-correlation)
- Site internet : *How to perform a Pearson correlation test in excel?* (http://toptipbio.com/pearson-correlation-excel)
- Site internet : *Pearson correlation assumptions* (https://www.statisticssolutions.com/pearson-correlation-assumptions)
- US EPA, 2000. *Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications*. 171 p.

PRÉPARÉ PAR

Benjamin Parys, Ph. D.
Chargé de projet

RÉVISÉ PAR

Sylvain Marcoux, ing., MBA (OIQ #116307)
Directeur de projet

ANNEXE

D

PROGRAMME DE SUIVI DE LA SURFACE DE ROULEMENT DES ROUTES DE HALAGE

NOTE TECHNIQUE

CLIENT :	Minerai de fer Québec		
PROJET :	Programme de suivi de la surface de roulement des routes de halage	**Réf. WSP :**	221-06731-06
OBJET :	Caractérisation de la teneur en silice cristalline des matériaux composant la surface de roulement des routes de halage au site de la mine de fer du lac Bloom	**DATE :**	15 novembre 2022
DESTINATAIRE :	M. Michel Groleau, MFQ		
C.C. :	M. Jean-François Poulin, WSP		

1 CONTEXTE ET OBJECTIF

Minerai de fer Québec (MFQ) a obtenu le 16 février 2022 un décret ministériel afin d'augmenter la capacité d'entreposage des résidus et stériles miniers de la mine de fer du lac Bloom (décret 166-2022). Le décret émis dans la Gazette officielle du Québec en date du 16 février 2022 mentionne que MFQ est tenu de respecter la condition suivante (condition 4) en ce qui a trait à la qualité de l'air ambiant :

> *« Minerai de fer Québec Inc. doit tenir un registre des matériaux utilisés pour la construction et l'entretien de la couche de roulement des routes de halage comprenant la date et la zone dans laquelle ils ont été utilisés. Le registre doit démontrer que Minerai de fer Québec Inc. a utilisé seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2% par des résultats d'analyses. Ce registre doit être mis à la disposition du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques sur demande et dans le délai qu'il indique.*
>
> *Il doit également déposer auprès du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques un rapport démontrant qu'il a utilisé seulement des matériaux dont la teneur en silice cristalline n'excède pas 2% pour la construction de la couche de roulement des routes de halage, au plus tard trois mois après la fin de la construction. Des rapports présentant cette information pour les matériaux utilisés pour l'entretien des routes doivent par la suite être transmis par Minerai de fer Québec Inc. au ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques tous les cinq ans. »*

Dans l'objectif de mettre en œuvre cette condition, MFQ a réalisé des études complémentaires visant à mieux cerner les enjeux spécifiques à la teneur en silice cristalline des matériaux utilisés pour les routes de halage et voir comment la gestion de cet enjeu peut se traduire dans ses réalités opérationnelles.

Une caractérisation de la teneur réelle en silice dans les particules fines des routes de halage au site de la mine de fer du lac Bloom a été effectuée. Les résultats démontrent que la teneur en silice sur la surface de roulement est en deçà du 2 % tel qu'exigé.

WSP Canada Inc.
11e étage
1600, boulevard René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec) H3H 1P9
Canada

T : +1-514-340-0046
F : +1-514-340-1337

wsp.com

En fonction de ces résultats, un nouveau programme de suivi de la surface de roulement des routes de halage a été élaboré. Ce suivi annuel est basé sur l'analyse de la teneur en silice dans les particules fines de la surface de roulement des routes de halage sur le site minier. En complément, la mise en place d'un registre des matériaux utilisés pour la construction et l'entretien des routes de halage permettra de satisfaire à l'objectif visé par la condition 4 du décret.

La présente note technique détaille la méthodologie employée pour échantillonner la teneur en silice présente dans la surface de roulement.

1.1 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

L'échantillonnage des particules fines au sol est réalisé sur des segments de route dans le but d'obtenir un portrait des teneurs en silice cristalline en fonction de la taille des particules. La caractérisation vise donc les routes non pavées sur le site de la mine.

2 MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

2.1 PRÉLÈVEMENT

La méthode de prélèvement est basée sur la méthodologie de l'AP-42 de l'US-EPA[1]. Cette méthode présente les procédures pour échantillonner les particules fines au sol sur les routes non pavées et les piles de stockage de matières granulaires.

Pour les sites des routes non pavées, les particules de surface des routes non pavées ont été caractérisées en considérant des prélèvements réalisés sur des bandes de 0,3 m sur la largeur locale des segments de route échantillonnés.

La nomenclature des échantillons sera établie par le chargé du projet. La nomenclature à privilégier est de type :

- IDroute-Idtraverse-date-(#triplicata)

L'échantillonnage doit être réalisé sur au moins trois traverses de route sur la longueur du segment d'intérêt choisi. Les bandes de 0,3 m sont identifiées par des cordes et aucun marquage (peinture ou craie) ne doit être effectué. Des prélèvements du sol de surface sur ces bandes sont réalisés avec un balai et un porte-poussière et sont déposés dans une chaudière recouverte d'un sac en plastique de polyéthylène. Un minimum de six prélèvements, répartis spatialement sur la traverse de la route, doit être transféré avec précaution dans la chaudière pour éviter la mise en suspension. Trois chaudières ont ainsi été remplies et identifiées de manière à créer un triplicata par segment de route, et ce, sur une distance totale de 800 m.

Finalement, des sous-échantillons représentatifs de chacune des chaudières sont transférés dans des bouteilles, sacs ou autres contenants étanches de polyéthylène pour envoi au laboratoire.

La méthode détaillée est présentée à l'annexe A. Des photos du prélèvement sont présentées à l'annexe B.

[1] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). AP-42, Appendix C.1, Procedures for sampling surface/bulk dust loading, July 1993.

2.2 FRÉQUENCE

L'échantillonnage des particules fines de route aura lieu une fois par année, durant le mois de mai ou juin. Des échantillonnages complémentaires pourront être effectués après la réception des résultats de la première campagne d'échantillonnage pour mieux caractériser les segments de route sur lesquels des mesures de mitigation devront être mises en place.

2.3 ANALYSE DES ÉCHANTILLONS

Le laboratoire RJ Lee Group a été initialement sélectionné pour les analyses de silice cristalline, mais un laboratoire autre, capable de réaliser les analyses requises, peut être utilisé. Ce laboratoire doit détenir l'accréditation de l'American Industrial Hygiene Association – Laboratory Accreditation Program (AIHA-LAP, LLC) pour l'analyse de la silice cristalline.

Dans un premier temps, le laboratoire doit analyser la quantité de silice cristalline dans les échantillons par tranche granulométrique, par analyse de diffraction des rayons X (XRD), combinée à de la microscopie électronique assistée par ordinateur (CCSEM), à partir d'un sous-échantillon utilisable par le microscope formé de la tranche < 45 µm des particules prélevées. Le résultat de cette analyse informe de la quantité de silice cristalline par tranche granulométrique par rapport au poids de l'échantillon complet. Les quantités de silice cristalline respirables ont ainsi été déterminées sur les différentes fractions suivantes :

- Particules de taille inférieure à 75 µm;
- Particules de taille inférieure à 10 µm;
- Particules de taille inférieure à 4 µm;
- Particules de taille inférieure à 2,5 µm.

Selon la procédure du laboratoire et les capacités de son analyseur XRD, la quantification des particules inférieures à 45 µm peut aussi être faite. Dans un deuxième temps, le laboratoire doit déterminer la distribution des tailles de particules de l'échantillon par diffraction laser. Cette analyse, combinée à la quantité de silice cristalline, est nécessaire afin de déterminer les teneurs en silice cristalline par tranche granulométrique.

Ce suivi annuel, basé sur l'analyse de la teneur en silice dans les particules fines de sols de la surface de roulement des routes de halage sur le site minier, réalisé en complément avec la mise en place d'un registre des matériaux utilisés pour la construction et l'entretien des routes de halage permettra de satisfaire à l'objectif visé par la condition 4 du décret.

PRÉPARÉ PAR

Sylvain Marcoux, ing. MBA (OIQ #116307)
Directeur de projet

ANNEXE A

Méthodologie d’échantillonnage au sol

Programme de suivi de la surface de roulement des routes de halage

Objectif :

Caractérisation de la teneur réelle en silice dans les particules fines de sols des routes de halage au site de la mine de fer du lac Bloom

Source :

Méthode de prélèvement basée sur :
US-EPA, AP-42, Appendix C-1 https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/appendix/app-c1.pdf

Méthode de fractionnement des échantillons basée sur :
US-EPA, AP-42, Appendix C-2 https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/appendix/app-c2.pdf

Pour la grosseur des échantillons à prélever, se référer à :
ASTM, C-136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

Conditions météorologiques au moment du prélèvement :

S'assurer qu'il n'y a pas eu de précipitation dans les 24 h précédant l'échantillonnage. Noter les conditions météo la veille et au moment du prélèvement.

Santé-sécurité:

Préparer une Analyse sécuritaire et environnementale des tâches (ASET) préalablement à la campagne d'échantillonnage. Les prélèvements doivent être effectués sous la supervision d'un membre du personnel de la Direction Environnement de la mine. S'assurer que les méthodes de prélèvements soient effectuées en respectant les règles de sécurité de la mine. Le travail sur les routes de transport où circulent les camions doit faire l'objet d'une attention particulière.

Matériel de base :

1. Balai en paille de riz 30 cm;
2. Porte-poussière à long manche;
3. Pelle;
4. 2 cordes de 15 m;
5. 12 piquets d'échantillonnage;
6. 1 masse ou 1 marteau lourd;
7. Chaudières étanches de 20L, avec joint d'étanchéité (une par échantillon);
8. Contenants étanches de 400 ml (trois par échantillon);
9. Balance de terrain (10 kg).

Échantillonnage :

A. Prélèvement sur routes non pavées :

1. Afin d'obtenir un portrait moyen représentatif des routes du site, il est recommandé de prélever un échantillon à tous les 4,8 km de routes non pavés. Cet échantillon doit être constitué de 3 à 6 prélèvements, répartis spatialement à tous les 0,8 km de route (voir le schéma à la figure A.1). Si la route à échantillonner est inférieure à 2,4 km, les 3 prélèvements doivent être effectués à des distances aléatoires sur le segment de route.

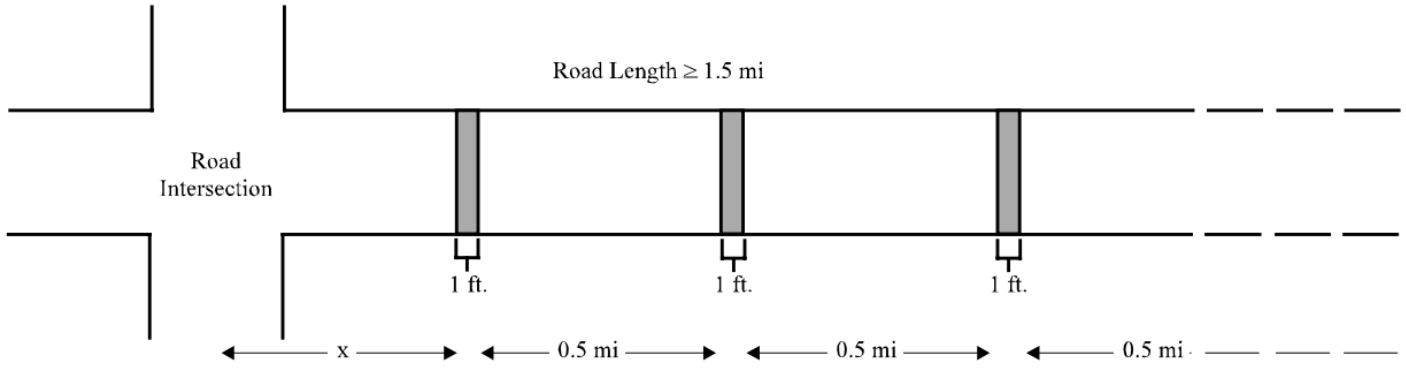


Figure A.1 Schéma de la position des prélèvements sur un segment de route (US-EPA, AP-42, Appendix C.1)

2. Pour chaque échantillon, préparer une chaudière propre de 20 L dotée d'un intérieur en polyéthylène ou en installant un sac résistant en polyéthylène.
3. Prélèvement :
    a. À l'aide de deux cordes maintenues par des piquets, établir une zone d'échantillonnage transversale à la route de largeur de 0,3 m. Ne pas utiliser du marquage à la peinture ou avec une ligne de craie (chalk line).
    b. À l'aide du balai et du porte-poussière, prélever le matériel libre de la surface sans affecter la base dure de la route. Le prélèvement à l'aide du balai doit être fait lentement afin d'éviter que la matière fine soit mise en suspension. Les prélèvements doivent être effectués uniquement où les roues des véhicules circulent normalement (c'est-à-dire, éviter les bermes ou de tout « monticule » le long de l'axe de la route).
4. L'échantillon doit avoir un poids total d'environ 10 kg par chaudière.
5. Bien fermer les couvercles en vérifiant qu'ils sont étanches et identifier les contenants. Prendre une photo du site.
6. Par la suite, fractionner chacun des échantillons en sous-échantillons pour l'analyse de laboratoire (voir la section B - Fractionnement de l'échantillon).

B. Fractionnement de l’échantillon

Afin de réduire les échantillons en sous-échantillons de taille adéquate pour l’analyse de laboratoire, ceux-ci doivent être fractionnés à l’aide d’une méthode standard. Par exemple, l’annexe C.2 de l’AP-42 propose le quartage de l’échantillon. Selon la granulométrie de l’échantillon, il est possible que cette méthode ne soit pas applicable pour la fraction grossière. Par exemple, l’AP-42 suggère de séparer et peser le matériel >0,6 mm avant d’effectuer le quartage.

La méthode est décrite ci-dessous :

1. Au site d’échantillonnage ou par la suite, vider le contenu de l’échantillon sur une toile de plastique ou sur une surface adéquate (verre, téflon, plexiglas, etc.).
2. Mélanger l’échantillon et former un cône.
3. Aplatir le cône en appuyant sur le dessus sans mélanger davantage.
4. Divisez la pile circulaire plate en quarts égaux en coupant ou en raclant deux lignes droites à angle droit.
5. Disposer de deux quartiers opposés et combiner les deux quartiers restants.
6. Répétez l’opération au besoin jusqu’à ce que l’échantillon soit réduit à une taille de 0,4 à 1,8 kg.
7. Afin de créer un duplicata, un quart complet peut être utilisé comme échantillon et le quart opposé pourra servir de duplicata.
8. Placer ces sous-échantillons dans des contenants étanches de 400 ml, dotés d’un intérieur en polyéthylène ou en installant un sac résistant en polyéthylène. La numérotation des échantillons devra être dotée d’un élément permettant de lier chacune des chaudières avec leur contenant de 400 ml associé.

FORMULAIRE DE PRISE DES DONNÉES

Plan d'échantillonnage des surfaces de sol pour la silice cristalline

Identification de l'échantillon	Date	Heure	Localisation		Masse approximative
			LAT	LONG	kg

ANNEXE B

Photos d’échantillonnage